MUNDO CIENTIFICO

Dossier: EL RIESGO TECNOLÓGICO

LA RECHERCHE, *versión en castellano*

N.º 66 – MENSUAL 400 Ptas.

Los asteroides
Momias de Groenlandia
Efecto fonoatómico
I+D en Japón ● Cuvier y Lamarck



ISSN 0211 - 3058

RANK XEROX

Primero el hombre.



Comienza un nuevo humanismo. El hombre vuelve a ser el centro de nuestro mundo. Es el hombre que crea, tiene ideas y la necesidad de reproducirlas y comunicarlas. Para este hombre Rank Xerox tiene soluciones, tecnología que hace el trabajo mejor, más rápido y con mayor satisfacción.

Consulte con los hombres de Xerox, comprenderá muy pronto que hay otras formas de crear, comunicar e imprimir. Pero no son Xerox.

RANK XEROX

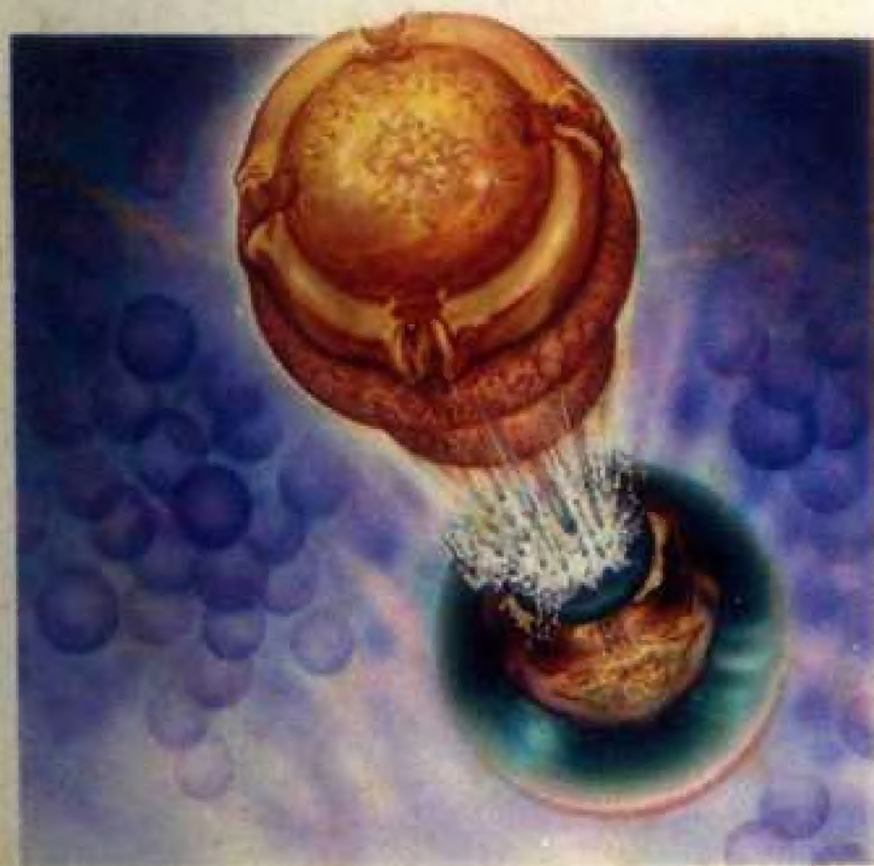
Ayudamos al hombre a crear, comunicar e imprimir.

Contrapunto

MUNDO CIENTIFICO

LA RECHERCHE, *versión en castellano*

Sumario n.º 66



(Dibujo de Fernando Acunha)

Del cultivo en probeta a la domesticación de las levaduras para la fermentación, el champaña se «moderniza». (p. 120)



(Foto Hospital Gentofte Copenhague)

Un inesperado descubrimiento en Groenlandia: esquimales del siglo XV perfectamente momificados. (p. 152)



¿Cuál ha sido el papel exacto que ha desempeñado Lamarck en la génesis de las ideas evolucionistas? (Foto J.-L. Charmet.) (p.136)



(R. Miller et W.K. Hartmann)

Los asteroides como Ceres son los upervivientes de los pequeños cuerpos que han formado planetas. (p. ?)

La ciencia del champaña

por Bruno Duteurtre

Figura 1. El champaña tiene dos características esenciales que lo distiguen de los demás vinos: es un vino blanco elaborado principalmente con una uva negra y es un vino espumoso. La costumbre de preparar el vino blanco a partir de una uva negra fue adquirida en el siglo XVIII para tratar de competir con los vinos tintos, especialmente de Borgoña. Aparte del chardonnay, cepa blanca que representa más del 20 % de las uvas, las otras vides utilizadas para la elaboración del champaña son la pinot noir (abajo, a la derecha) y la pinot meunier. Para el viticultor, la preparación del vino de Champaña consistirá primero en evitar que el zumo de uva adquiera color al contacto con las pieles negras. El vino espumoso aparece más tardíamente. El procedimiento se ha desarrollado naturalmente con la aparición de las botellas, ya que al estar situada Champaña en una región septentrional, la fermentación responsable de la transformación de la uva en vino no terminaba antes del invierno. Empezaba de nuevo tras el embotellado en primavera, dando lugar a la formación de espuma. El mérito de los champañeses estribó en dominar el fenómeno de la espumación. (Foto A. Fotogram; B, Moët et Chandon.)



La fama del vino de Champaña no es preciso demostrarla. En 1985, se vendieron en el mundo entero casi doscientos millones de botellas con la denominación «champaña». Si perdura la tradición de hacer correr el champaña a mares durante las fiestas de fin de año, hay otra respetada ante todo por los champañeses: la lenta y delicada transformación del mosto en un vino tan burbujeante. Porque la elaboración del champaña se basa en unas reglas muy precisas, definidas progresivamente al cabo de los siglos. Producto de tradición, actualmente el champaña es, sin embargo, objeto de una investigación científica activa. Un mejor dominio de los procesos de fermentación, con la ayuda especialmente de levaduras «domesticadas», el cultivo en probeta de las plantas de la vid, un nuevo procedimiento para suprimir las fastidiosas manipulaciones de las botellas: nuevas vías, todas exploradas por los investigadores. Pero ¿cómo casar la tradición y las técnicas modernas para que el vino conserve toda su calidad? Es lo que nos explica B. Duteurtre, responsable de un laboratorio de las bodegas Moët et Chandon.



¿Cómo y por qué «modernizar» la elaboración del vino de champaña?

Bruno Duteurtre es doctor ingeniero en bioquímica de la Escuela Nacional Superior de agronomía e industrias alimentarias de Nancy. Es responsable del laboratorio de investigación enológica del grupo Moët et Chandon en Epernay.

La presencia de la vid en Champaña es muy antigua, ya que en sedimentos que datan del Terciario, en Sézanne, departamento de Marne, se han encontrado hojas fosilizadas. Sin embargo, estos fósiles, bautizados *Vitis sezannensis*, corresponden a plantas muy distintas de las cultivadas hoy, y seguramente no eran aptas para la elaboración de vinos. Los primeros testimonios acerca de la vinificación se remontan a la época romana, en la que algunos escritos cuentan que los vinos de Ay, nombre de una localidad situada a las puertas de Epernay, ya eran afamados. Lo que sí es cierto es que el cultivo de la vid apareció, en Galia, 500 años a. de C. y que los viñedos septentrionales se crearon mucho más tarde: borgoña en el siglo III de nuestra era, champaña en el siglo VI.

Desde el renacimiento carolingio, la evolución del viñedo está estrechamente ligada a la vida de las órdenes religiosas, las cuales determinan las primeras reglas de elaboración de los vinos. En el siglo XIII empieza a circular la noción de cepa; en el XVI, medianamente conocidos los vinos de Champaña, son los de Ay los que gozan de fama. En esa época, las coronaciones reales celebradas en Reims, la de Francisco II en 1559 o de Enrique III en 1575, contribuyen extraordinariamente a desarrollar la celebridad de estos vinos.

La producción limitada hasta entonces a los vinos blancos, hace crecientemente paso en Champaña a los vinos tintos, para competir con los caldos de las regiones vecinas. Pero el vino sigue siendo un producto de lujo, siendo la bebida cotidiana un tipo de cerveza a base de cereales. Por medio del transporte fluvial y marítimo, el comercio del vino de Champaña se desarrolla más hacia Inglaterra, España, etc. También es cada vez más apreciado en la corte de los reyes de Francia, sobre todo a partir de principios del siglo XVII.

A fines del siglo XVII empieza a extenderse la utilización de botellas; antes el vino era transportado en toneles. El taponamiento se aseguraba por medio de una clavija de madera, engrasada con sebo y mantenida con un bramante. A partir de 1685 aparecen los tapones de corcho. En el siglo XVIII comienza a desarrollarse una tecnología peculiar en la región de Champaña, a fin de elaborar vinos blancos a partir de uvas negras. En efecto, dadas las dificultades de competir con los vinos tintos de la vecina Borgoña en especial, los champañeses encontraron la forma de obtener vinos blancos a partir de uvas negras, llamados en aquel entonces vinos grises, de superior calidad a los que se obtienen vinificando las uvas blancas. Para evitar que el zumo, o mosto, se coloreara al contacto de las pieles negras de las uvas, suprimieron la pisa –aplastamiento de la uva antes del prensado– y la maceración –contacto prolongado del zumo con las partes sólidas de la uva– y modificaron el prensado destinado a extraer la parte líquida de la vendimia (fig. 1).

También se desarrolla la noción de una poda especial de los sarmientos para aumentar la calidad. Igualmente, los viñadores advirtieron que la calidad de los vinos elaborados con los últimos mostos del final del prensado disminuía, mientras que su coloración aumentaba. Adquirieron pues la costumbre de separar las diferentes porciones en el transcurso del prensado: dando los mejores vinos los primeros mostos llamados cupada o vino base siendo los demás fracciones, por orden de colada primer corte, segundo corte y restos, que dan unos vinos de calidad cada vez peor.

De ese modo vemos cómo, en el transcurso de los siglos, diferentes reglas o técnicas han evolucionado progresivamente para mejorar los vinos de Champaña. A fines del siglo XVII, la mezcla de uvas procedentes de diferentes vides y de diferentes cosechas se hace práctica corriente para mejor armonizar su calidad y paliar sus defectos y para obtener vinos de calidad más constante y de un nivel superior. Esta importantísima innovación se debe a Dom Pérignon (1639-1715), monje cillerero de la abadía benedictina de Hautvillers situada en las alturas de Epernay, quien influyó mucho en el desarrollo de los vinos de Champaña.

La champañización propiamente dicha se desarrolló más tardíamente. Los primeros vinos espumosos de Champaña aparecieron entre los siglos XVII y XVIII, probablemente de manera natural cuando se empezó a hacer uso de botellas (fig. 1). En efecto, al estar situada Champaña en una región septentrional (poca madurez de la uva, frío crudo del invierno), la fermentación responsable de la transformación de la uva en vino no terminaba antes de la aparición de los grandes fríos. Recomenzaba tras el embotellado en primavera, dando lugar así a la formación de espuma. Desde entonces, los habitantes de Champaña van a esforzarse en obtener una espuma regular por medio de una inteligente elección de la época de embotellado y una cuidada selección de las uvas que tienen más tendencia a espumar. En 1837, un farmacéutico de Châlons-sur-Marne llamado François publica un pequeño catálogo que precisa la relación existente entre el peso de azúcar añadido al vino en el momento del embotellado y la presión ulterior. Este descubrimiento resultó decisivo pues, por aquel entonces, el porcentaje de botellas rotas era de casi en un 20 %, por ser demasiado frágiles para resistir las presiones obtenidas por fermentación. Algo más tarde nació la idea de que la transformación de la uva en vino se debía a un «fermento», más tarde llamado «levadura». Pero será necesario esperar a fines de este siglo y a los trabajos de Pasteur, en particular, para profundizar en el cometido exacto de las levaduras en los procesos de fermentación.

Estas levaduras forman al final de la fermentación en botella un poso que debe ser eliminado. Hasta principios del siglo XIX, su eliminación se realizaba transfiriendo el vino a otra botella. De ahí ve la luz la operación de «removido» para concentrar el sedimento en el cuello de la botella. Inmediatamente, unos soportes especiales de madera, llamados pupitres o botelleros, y que pueden aguantar cada uno ciento veinte botellas, aparecen y facilitan esta operación de removido. La operación de desobstrucción consistente en eliminar este sedimento concentrado en el cuello de la botella se hará durante mucho tiempo por simple expulsión: descorchada la botella cuello abajo, el vino escapa arrastrando consigo al sedimento. No es sino a fines del siglo XIX cuando aparece la desobstrucción (degüelle) al hielo consistente en hacer circular el cuello de las botellas en un recipiente de salmuera a –25°C durante unos minutos para congelar el sedimento. Éste es expulsado entonces por descorche de las botellas, levantándolas para perder la menor cantidad posible de vino. Esta técnica se generalizó entre los pequeños manipuladores hace sólo unos treinta años. Después, la botella es puesta boca arriba y entonces se efectúa el taponamiento definitivo, tras la eventual adición de un licor destinado a hacer los vinos menos agresivos; más adelante volveremos sobre ello (fig. 2).

¿La vid en probeta?

Como en cualquier otro vino, la calidad del champaña no resulta sólo de la fermentación. Se deriva igualmente de la naturaleza del terreno en el que se ha cultivado la vid y de todas las demás etapas que contribuyen a la elaboración de un vino: cultivo de la vid, vendimmias, mezclas y tratamiento de los vinos antes del embotellado, envejecimiento del vino sobre la madre, removido y descorche.

Comencemos por el principio, el cultivo de la vid que asocia tres elementos: unas cepas seleccionadas, un clima difícil y un suelo peculiar que permiten obtener las características organolépticas del champaña. El viñedo champañés, situado en la parte oriental de la cuenca parisiense, está plantado a media ladera en las vertientes del acantilado de Ile-de-France, a una altitud de 150 a 200 metros (fig. 3). Reposa en 20 a 50 centímetros de derrumbes procedentes de las vertientes terciarias que recubren el subsuelo constituido por una capa de creta de belemnitas del Senoniano (Cretáceo superior) de más de 200 metros de espesor. El cometido de la creta es doble: drena el exceso de agua durante las estaciones húmedas y

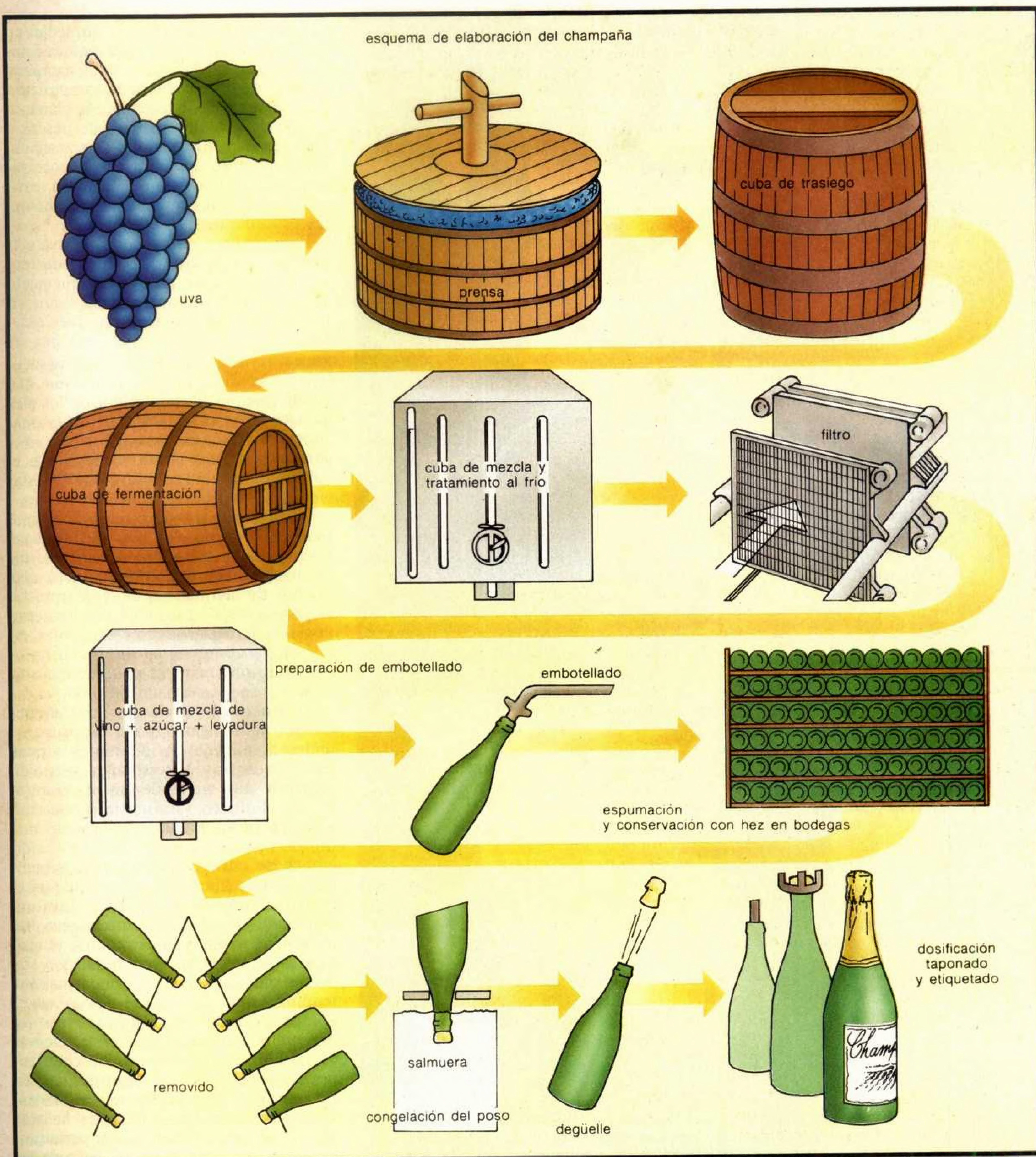


Figura 2. La elaboración del vino de Champaña es una sucesión larga y delicada de etapas bien definidas y reglamentadas. La vendimia tiene lugar a fines de setiembre, principios de octubre, y la uva recogida es rápidamente, vertida en el lugar. El prensado se realiza de forma rápida, evitando que el mosto tenga tiempo de colorearse al contacto con las pieles de la uva. El zumo, o mosto, así obtenido es clarificado, es decir, liberado de numerosas pepitas, restos de tierra, microorganismos: es el trasegado realizado por precipitación natural. Después, el mosto se manda a una cuba de fermentación. La primera fermentación, llamada alcohólica, transforma los azúcares del mosto en alcohol y en gas carbónico. Tiene lugar por acción de las levaduras presentes en el mosto. Pero es necesaria una siembra con levaduras para un mejor dominio del procedimiento. La fermentación maloláctica se efectúa una vez finalizada la alcohólica. Permite reducir la acidez del vino al transformar el ácido málico en ácido láctico gracias a la acción de bacterias. Al final de estas dos fermentaciones, y después de un análisis completo y degustación, los vinos son mezclados por cada fabricante, con miras a casar las características de las diferentes cepas, de los diferentes caldos, de diferentes añadas. El vino sufre luego una estabilización al frío, y después es filtrado para librarle de las últimas materias en suspensión. En una nueva cuba se mezcla entonces con un licor a base de azúcar, que contiene levaduras. Luego se saca, es decir, se embotella. Las botellas son encamadas en las bodegas, mientras que se desarrolla una segunda fermentación alcohólica, característica del método «champenoise» que da lugar a la espuma. Después, el vino envejece durante muchos años con el sedimento de levaduras formado; luego éste debe ser eliminado. Para conseguirlo, las botellas se colocan en botelleros de madera en posición inclinada y removidas a mano cada día: es la operación de «removido», que permite concentrar el poso en el cuello de la botella. Luego se pasa el cuello por una salmuera a −25°C para congelar el sedimento, el cual es expulsado al abrir la botella (degüelle). Inmediatamente se añade al champaña un licor destinado a convertir el vino en brut, extra-seco, seco, semiseco. El taponado y etiquetado terminan el ciclo de elaboración del champaña.

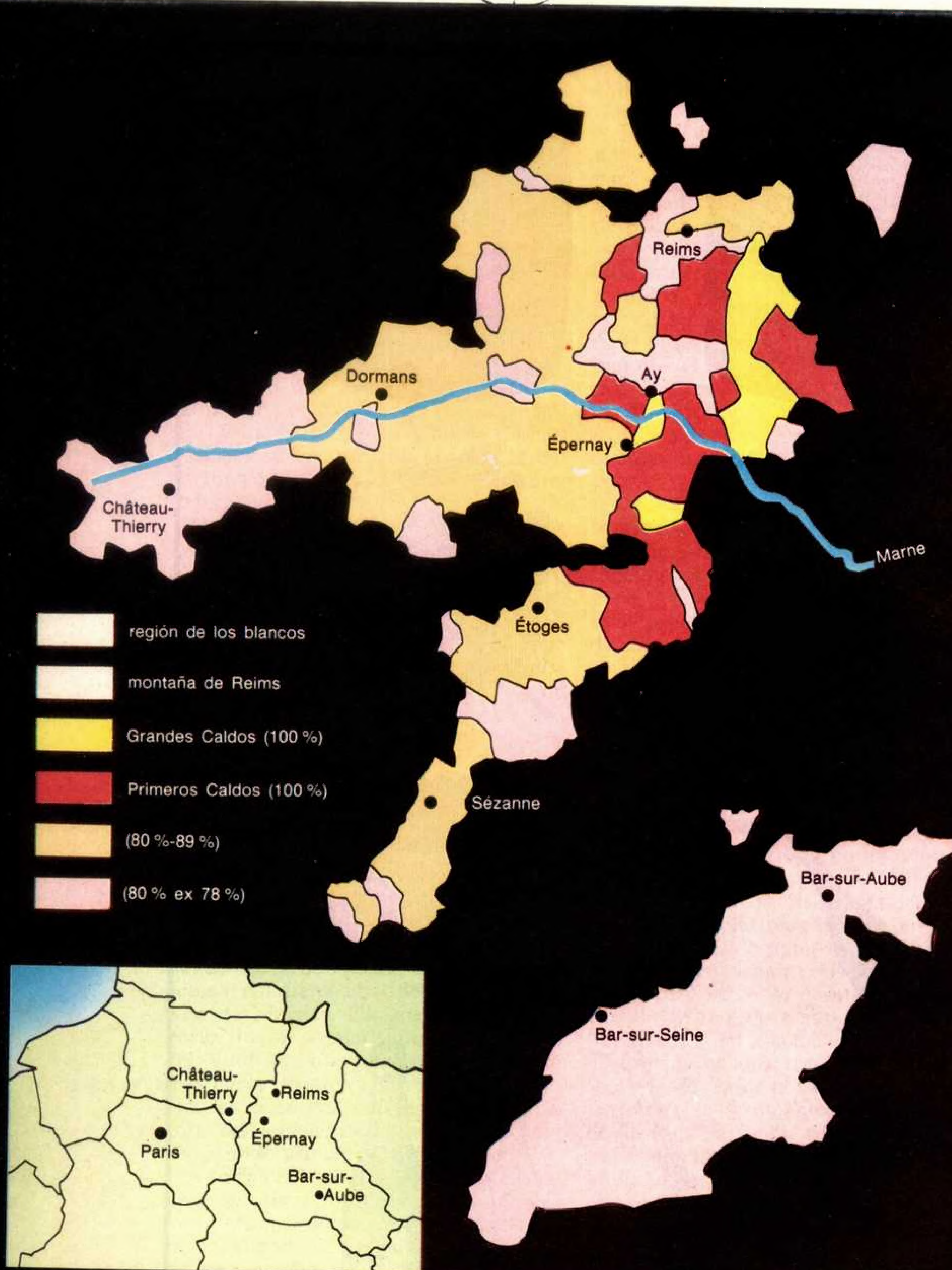


Figura 3. El área de denominación champaña está delimitada por la ley de 22 julio 1927. Abarca 34.000 ha, de las que en la actualidad están plantadas 26.700. El viñedo se extiende en gran parte en el departamento de Marne: colinas de la montaña de Reims, valle del Marne y región de los blancos al sur de Epernay, que representan el 80 % de las superficies plantadas. Igualmente comprende el sur del departamento de Aisne (5 % de las superficies plantadas), así como de Aube (15 % de las superficies plantadas), las regiones de Bar-sur-Seine y Bar-sur-Aube. Por último, hay unas cuantas hectáreas de denominación en Seine-et-Marne (9 ha) y en Haute-Marne (2 ha). La vinificación en Champaña resulta excepcional, en el sentido de que se elabora principalmente un vino blanco a partir de uvas de las que casi el 80 % son negras. Se admiten apenas exclusivamente tres cepas para la denominación champaña: dos son a base de uvas de pieles negras (pinot noir y pinot meunier) y una de uvas de pieles blancas (chardonnay). Esta última representa casi el 25 % de las superficies plantadas, principalmente en la región de los blancos. Otras dos cepas, el petit meslier y el arbanne prácticamente ya no son utilizados. La región de los blancos es un acantilado que se extiende unos veinte kilómetros, en dirección Norte-Sur. Los grandes caldos, en particular de Cramant y de Avize, proviene de una pendiente que da al Este. La variedad pinot noir se encuentra sobre todo en la montaña de Reims, vasta meseta de 20 a 25 kilómetros de longitud por 8 a 12 kilómetros de anchura, situada al sur de Reims. Los principales caldos están situados en las vertientes orientadas hacia el Este y el Sur. La pinot meunier, más rústica, menos sensible a las heladas de primavera, está plantada en el valle del Marne: de Epernay a Dormans y hasta Château-Thierry. Una escala de caldos, en el interior de Champaña, fija el porcentaje del valor de cada uno. Se sitúa entre un 80 % para los pequeños caldos (valle del Marne, Aisne, Aube) y un 100 % para los grandes caldos. En la vendimia permite determinar el precio del kilo de uvas a partir del fijado por el CIVC para los caldos de 100 %. Los grandes caldos de 100 % son, de uvas negras (montaña de Reims): Ambonnay, Ay, Beaumont, Bouzy, Louvois, Mailly, Puisieulx, Sillery, Tours-sur-Marne, Verzenay, Verzy; de uvas blancas, (región de los blancos): Avize, Chouilly, Cramant, Mesnil-sur-Oger, Oger, Oiry.

restituyé una parte de esta humedad en los veranos secos. Para muchos, la finura y ligereza del vino de Champaña derivan en gran parte de la composición de este subsuelo que pone a la planta al abrigo de cualquier exceso de frescor o de sequedad. El clima es de transición, más sometido a las influencias oceánicas predominantes de la cuenca parisiense que a las tendencias continentales procedentes del Este.

Para muchos, la cepa contribuye evidentemente al tipo de vino producido. Pero el viticultor influye enormemente en la calidad. En efecto, debe seguir un número de reglas a menudo muy constrictivas para explotar al máximo las aptitudes de la vid. Se trata en particular de la densidad de población que condiciona en parte el vigor de los pies de vid, de la orientación de las plantaciones, del método de poda y del rodrigonado. Veamos cómo se desarrolla el cultivo de la viña a lo largo de las estaciones.

Después de las vendimias y durante todo el invierno, los pies de las cepas jóvenes están generalmente recubiertos de tierra: es el recalce que preserva a las plantas de las heladas del invierno. En el transcurso de este período, los terrenos son fertilizados con diferentes estiércoles y abonos y la vid es recortada, sufriendo una primera poda de maderámenes y sarmientos inútiles.

Al final del invierno, en febrero-marzo, tiene lugar la poda propiamente dicha. Realizada de diferentes formas según la cepa y el terruño, consiste en suprimir una parte de los sarmientos, siendo el objetivo limitar la producción a fin de preservar un rendimiento medio compatible con las difíciles condiciones de cultivo en esta zona septentrional. Los tipos de poda están perfectamente reglamentados por el Instituto Nacional de las Denominaciones de Origen de vinos y aguardientes, el cual precisa el número de unidades y de brotes que conservar. La poda más extendida es el cordón de Royat en el «pinot noir» y en algunos «crus de meunier». La poda Chablis está reservada casi exclusivamente a los chardonnays. La salida de las yemas se hace en marzo-abril, es el «brote de los tallos». En esta época, los riesgos de heladas pueden provocar estragos importantes. La floración tiene lugar las más de las veces en la segunda quincena de junio. Este período necesita un tiempo cálido y soleado, so pena de perder una parte del potencial de la cosecha por ausencia de fecundación (o «corrimiento»).

A partir de junio, los sarmientos son rodrigados en espaldera, es decir, mantenidos en posición vertical y con las yemas terminales suprimidas para que los racimos aprovechen al máximo la luz del sol y se limite la competencia entre el crecimiento vegetativo y el desarrollo de los racimos. Por lo demás, la importancia de esta operación viene

avalada por ciertos trabajos que ponen de manifiesto la influencia de las condiciones microclimáticas sobre los constituyentes organolépticos del vino. En el transcurso de estos períodos, la cepa es objeto de diferentes tratamientos (fungicidas e insecticidas) con miras a protegerla de los diversos parásitos susceptibles de causar estragos importantes. Algunos de ellos son temibles, como la célebre filoxera, un pulgón introducido de América que a fines del último siglo arrasó la mayoría de los viñedos europeos *(Vitis vinifera)* atacando a sus raíces. Felizmente, el viñedo europeo fue salvado de la destrucción injertando las cepas *Vitis vinifera* en unos patrones de injertos resistentes de origen americano. En Champaña, la reconstitución del viñedo se efectuó de igual modo recurriendo a patrones de injertos americanos *(Vitis riparia, Vitis landieri*, etc.).

La lucha contra la filoxera señaló una modificación importante en el modo de gestión de la vid en Champaña. Esta época vio igualmente un cambio importante en lo que concierne a la mejora del cultivo. A partir de aquel momento, en efecto, los viticultores otorgaron más interés a la elección de los mejores patrones de injerto y de los mejores injertos, conservando para la descendencia los que tenían un estado sanitario aparentemente correcto, una productividad satisfactoria, en fin eliminando los menos vigorosos. Progresivamente, este trabajo de selección de las cepas se generalizó. Hasta el momento ha permitido importantes progresos, reforzados evidentemente por la mejora de las técnicas de cultivo (mecanización, deshierbe, tratamiento de enfermedades, abono orgánico...). Pero esta forma de selección llamada «massale», aunque utilizada todavía, resulta muy empírica. Actualmente tiende a ser remplazada por un método más sistemático, basado en un mejor conocimiento de las variedades: la «selección clonal», realizada en Champaña por organismos profesionales, como el Comité Interprofesional del Vino de Champaña (CIVC). Consiste en individualizar unas cepas, atendiendo a un determinado número de criterios, para multiplicarlas separadamente y formar unos «clones». En todas las etapas se efectúan análisis: seguimientos morfológicos, control sanitario, análisis de los vinos, degustaciones... Se requieren aproximadamente quince años entre el reconocimiento de los pies en el viñedo y la asociación de los clones constituidos antes de su difusión.

Hace muchos años que han aparecido las técnicas de cultivo *in vitro*, que ofrecen interesantes posibilidades para la mejora del material genético en general. Aplicadas desde hace poco a la vid, gracias especialmente a los trabajos de la estación de fisiopatología vegetal del Instituto Nacional de Investigación Agronómico (INRA) de Dijon, el cultivo *in vitro* consiste en tomar un fragmento de tallo que posea una yema y en colocarlo en un medio de cultivo aséptico para regenerar una nueva planta en unas condiciones controladas de luz y de temperatura. Luego, esta pequeña planta es fragmentada en tantos microesquejes como yemas formadas. Al repetirse la operación varias veces, permite obtener en un año unos cien mil descendientes a partir de una sola yema, todos idénticos a la planta madre (fig. 4) (véase «El cultivo de las plantas en probeta» en nuestro número de febrero 1985). Las plantas del cultivo *in vitro* son luego readaptadas a las condiciones exteriores e injertadas en invernadero. Así, este método permite una multiplicación rápida en laboratorio, al abrigo pues de la intemperie y en un mínimo de espacio, de las plantas de vid (injertos y patrones de injerto). También puede considerarse para la mejora sanitaria del material. Por ejemplo, si es detectada una enfermedad vírica, los microesquejes producidos *in vitro* pueden ser sometidos a temperaturas elevadas. Este método de curación por termoterapia se ha revelado muy eficaz en diferentes especies vegetales, como la patata, para eliminar ciertas enfermedades víricas (véase «La patata» en nuestro número de abril de 1986).

El laboratorio de viticultura de la sociedad Moët et Chandon se interesa desde hace algún tiempo en las diferentes aplicaciones del cultivo *in vitro*. Cultivo que debería permitir dominar mejor la producción y el estado sanitario de las plantas de vid de la región de Champaña (cepas y patrones de injertos), necesarios para la renovación del viñedo. Sin embargo, antes de la utilización industrial de este método de obtención de plantas de vid hay que determinar su interés tecnológico y económico. Desde hace más de un año, vides salidas del cultivo *in vitro* son objeto de una experimentación a gran escala, a fin de verificar la conformidad de las cepas tradicionales así multiplicadas.

Por otra parte, la conservación del patrimonio vegetal, representado especialmente por los clones actuales de las cepas champañesas, podría verse facilitada por las condiciones del cultivo en laboratorio, que requiere poco espacio y no es tributario de los agentes patógenos y de los azares climáticos. Ya hay colecciones de ese tipo para otras especies vegetales. Un conservatorio de la vid podría ser el punto de partida de una rápida multiplicación de los injertos o patrones de injertos en caso de necesidad. Paralelamente a estos trabajos, pero en estrecha relación con diferentes laboratorios de investigación pública en el marco del programa nacional Vid (laboratorio de biotecnología vegetal, en la Escuela Nacional Superior Agronómica de Toulouse, laboratorio de botánica aplicada en la universidad de Dijon, estación de investigación vití-



Figura 4. Desde hace poco, la vid es objeto de estudio mediante cultivo* in vitro. *Consiste en tomar un fragmento de tallo que posea una yema y colocarlo en un medio de cultivo aséptico para regenerar una nueva planta en unas condiciones controladas de luz y de temperatura. Esta pequeña planta es fragmentada luego en tantos microesquejes como yemas se han formado. Repitiendo la operación varias veces, permite obtener en un año unos cien mil descendientes salidos de la misma planta madre. Este método, todavía experimental para la vid, permite pues una multiplicación rápida, en laboratorio, al abrigo de la intemperie, de las plantas de vid interesantes. Se están examinando otras aplicaciones del cultivo* in vitro *en relación a la vid: curación de enfermedades víricas, mejora genética de las cepas, bancos de genes, etc. (Foto Möet et Chandon.)

cola, en el INRA de Villeneuve-les-Maguelonnes), se ha emprendido un estudio referente a la variabilidad de las vides champañesas con la ayuda de técnicas como la embriogénesis somática. En este caso, se trata de regenerar, a partir de un pequeño conjunto de células, plantas enteras, algunas de las cuales podrían presentar caracteres diferentes de la cepa de partida. Esta vía, que se encuentra en fase de exploración, sería mucho más rápida para crear nuevas variedades que el método clásico consistente en cruzar dos variedades y después seleccionar la descendencia.

El tiempo de la vendimia

Volvamos a la vid en su medio «natural». La uva ha madurado durante el verano, está lista para ser cogida. Es el tiempo de la vendimia, que en Champaña comienza entre fines de setiembre y primeros de octubre y dura de dos a tres semanas. Se realiza de forma manual, estando prohibidas las máquinas de vendimiar pues la piel de la uva podría ser, más o menos deteriorada mecánicamente, provocándose así un inicio de extracción de las materias colorantes.

Los racimos cortados y librados de sus hojas son transportados rápidamente al lagar. El prensado es efectuado normalmente en las horas que siguen a la recolección. El lagar tradicional champañés contiene 4000 kilos de uva; es de forma cuadrada o circular de tres metros de diámetro; su contorno y su fondo están provistos de encañizados que permiten el paso rápido del zumo de uva, lo cual limita los riesgos de extracción de las sustancias colorantes. No hay soporte filtrante, sino filtración a través del conglomerado formado por los racimos, rabillos, películas, etc. (fig. 2).

El prensado dura aproximadamente cuatro horas. Las diez primeras cubas suministran, digamos, 2 050 litros (la cuba (pièce) es el nombre dado antiguamente en Champaña a los toneles que contenían 205 litros y que aún sirven como unidad de medida): constituyen la cupada (lagarada) o vino base. Se trata del mosto más noble y el más apto para dar un champaña de buena calidad. Las tres últimas cubas (dos cubas llamadas de primer corte y una cuba de segundo corte), representan un zumo de calidad no tan buena (menos ácido, más rico en polifenoles y taninos procedentes de un principio de aplastamiento de los rabillos). Dan unos vinos más consistentes, que no serán utilizados para la preparación de los champañas de postín. El residuo de esta filtración que queda en el lagar es el orujo (marc). Es enviado a la destilación para ser transformado en alcohol, aunque una parte del mismo permite elaborar el «marc de champaña».

Por razones cualitativas, los aparatos que prensan la uva ininterrumpidamente están prohibidos en Champaña. Desde hace unos años, han aparecido nuevas prensas, bien prensas horizontales de platillos y de tornillo sin fin autorizadas oficialmente por el CIVC en el año 1971, bien prensas horizontales neumáticas con un tambor horizontal provisto de una vejiga hinchada con aire y que permite aplastar las uvas. La ventaja de estos nuevos tipos de prensas es la automatización de su manejo, prácticamente imposible de realizar con la prensa tradicional. En cualquier caso, es necesario mantener un funcionamiento relativamente lento de la prensa, pues un accionamiento demasiado rápido provocaría una más elevada extracción de cienos (materias insolubles del mosto) y un prensado más intenso de los rabillos acarrearía unos contenidos en potasio más altos, un pH más elevado, etc., y consiguientemente, una menor estabilidad química y biológica del champaña.

marrón», origen de un precipitado de este color. Se trata de la oxidación de compuestos esenciales de la uva, los fenoles. Están implicados dos tipos de fenoloxidasas, cuya actividad a partir del prensado se intentará inhibir: por una parte, las tirosinasas o catecoloxidasas, elementos constitutivos del tejido celular de la baya de uva, que son liberados en el prensado en forma soluble; por otra, las lacasas, igualmente solubles, de origen fúngico, secretadas en particular por el hongo *Botrytis cinerea* responsable de la podredumbre que se desarrolla en las raíces cuando las condiciones climáticas son desfavorables.

A fin de limitar la oxidación de los mostos, se realiza un sulfitaje ininterrumpido sobre el zumo que mana del lagar. Este tratamiento a base de anhídrido sulfuroso (SO_2) tiene por objeto igualmente limitar el desarrollo de la flora indígena, principalmente las levaduras salvajes, susceptibles de entorpecer la implatación de los cultivos de levaduras seleccionadas para la fermentación; más adelante volveremos sobre ello. Después, el zumo es recuperado en la cuba de paso llamada «belon», donde durante diez a veinte horas sufrirá una clarificación natural denominada trasiego estático, que permite decantar lo esencial de las materias en suspensión (fig. 2). Este trasiego puede verse facilitado, según la cantidad de vendimia que tratar, por medio de diversos adyuvantes (bentonita, taninos, enzimas pec-

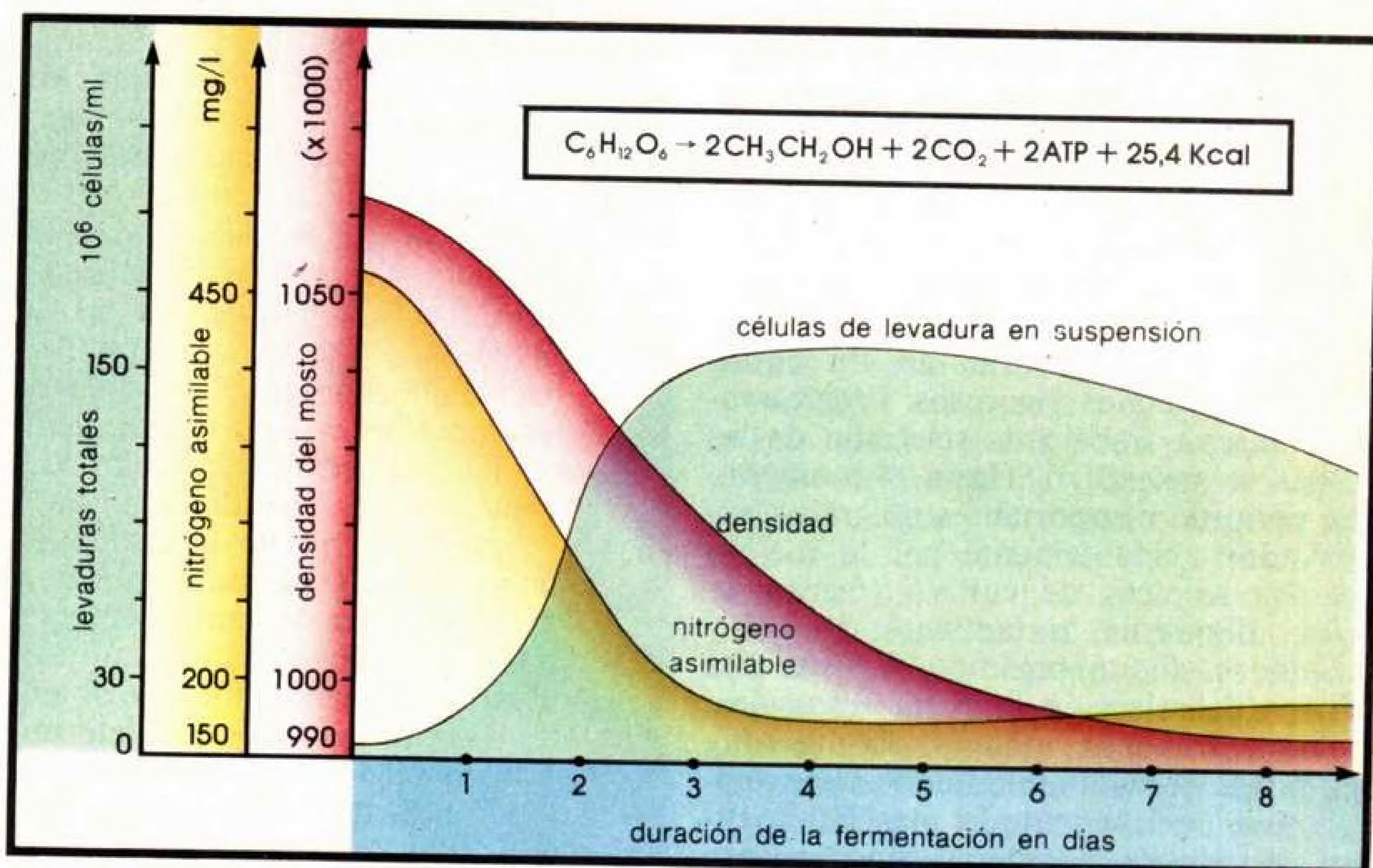


Figura 5. La fermentación alcohólica es una de las etapas principales que transforman el zumo de uva, o mosto, en vino. Dura aproximadamente una semana a una temperatura de 20 °C y se traduce por una disminución de la densidad del mosto. Gracias a las levaduras presentes en el zumo de uva, ahora remplazadas por las levaduras sembradas por el vinificador, los azúcares de la uva ($C_6H_{12}O_6$: glucosa y fructosa) son transformados en etanol (CH_3CH_2OH) y gas carbónico (CO_2) según la ecuación de Gay Lussac indicada arriba. La fermentación se acompaña de la liberación de moléculas energéticas (ATP) puestas a disposición de las levaduras. Éstas, al principio de la fermentación, utilizan una escasa parte de los azúcares para su crecimiento. Se sirven igualmente de las sustancias nitrogenadas (nitrógeno amoniacal y aminoácidos) presentes en el mosto para la síntesis de su proteína. Estas diferentes reacciones acarrean la aparición de diversos compuestos, algunos de los cuales intervienen en la calidad organoléptica del vino.

Al final del prensado, se obtiene pues un zumo, o mosto, que es necesario clarificar. En efecto, contiene numerosas materias amorfas y orgánicas en suspensión (pepitas, tierra, microorganismos, etc.). Igualmente están presentes numerosos enzimas, algunos de los cuales pueden causar modificaciones desfavorables en la vinificación. Así, hay fenoloxidasas que pueden provocar ulteriormente en el vino de Champaña, como en todos los vinos, la llamada «hez oxidásica» también llamada «hez

tolíticos, etc.). Hay otros tipos de tratamiento (clarificación por centrifugación o filtración por gel de sílice) pero pueden entorpecer el desarrollo de las fermentaciones ulteriores, por ejemplo eliminando ciertas bacterias necesarias en la vinificación posterior. Por eso, el trasiego estático en presencia de SO_2 sigue siendo la regla más general.

Dos fermentaciones sucesivas para transformar el zumo de uva en vino

De este modo, el zumo trasegado está listo para la fermentación. La primera de las fermentaciones, la fermentación alcohólica, es una etapa esencial de la transformación de la uva en vino. Tiene lugar por la acción de los enzimas de las levaduras que convierten los azúcares del mosto en alcohol y en gas carbónico. Una pequeña parte de los azúcares es transformada en diversos compuestos (aminoácidos, ácidos orgánicos, ésteres, alcoholes superiores, etc.) que contribuirán a las cualidades organolépticas del vino (fig. 5).

Las cubas de fermentación tienen unos volúmenes muy variables, que hoy pueden ser de mil a dos mil hectolitros, cuando antiguamente la fermentación se realizaba en unos toneles de madera con una capacidad de unos centenares de litros. Más tarde, aparecieron las cubas de hormigón o de acero vitrificado, para ser remplazadas en los años 1960 por cubas de acero inoxidable provistas de una doble envoltura por donde circula un líquido de refrigeración que permite mantener el mosto en fermentación a la temperatura óptima. Eventualmente, éste es fortificado con azúcar de caña o de remolacha según la legislación en vigor, con miras a obtener, al final de la fermentación alcohólica, un grado alcohólico cercano a 11 °C. En Champaña, efectivamente, cuando los veranos son poco soleados, la maduración puede ser insuficiente y la concentración de azúcar en la uva demasiado escasa. ¿Cómo realizar la fermentación alcohólica? Antiguamente, los viticultores tenían por costumbre dejar hacer espontáneamente a la flora indígena presente en el mosto. Flora compuesta en lo esencial de *Saccharomyces*, así como de *Candida* y de *Kloeckera*, en número de un millar a un millón de células de levaduras por mililitro. El mayor inconveniente de una práctica así es que las fermentaciones son frecuentemente incompletas; entonces, los azúcares residuales pueden ser degradados por unas bacterias, según otras vías de fermentación, en unos compuestos nefastos para la calidad del vino. Por eso, ahora los zumos de uvas son siempre sembradas con levaduras de cultivo puras pertenecientes a la especie *Saccharomyces cerevisiae*. Con un aporte de levaduras situado entre uno y cinco millones de células por mililitro, la fermentación alcohólica se realiza aproximadamente en una semana, para una temperatura de fermentación de 20 °C. Ésta varía entre 10 y 25 °C según las características que se quiera dar al champaña (más o menos ésteres, alcoholes superiores, etc.).

Las levaduras que sirven para la siembra son suministradas con frecuencia a los viticultores y a los negociantes en forma de levaduras secas preparadas por sociedades especializadas. Sin embargo, algunos champañeses prefieren utilizar sus propias levaduras, que preparan ellos mismos en forma de fermento líquido. Tras haber sido aisladas sobre la uva o en el mosto, las cepas de levaduras son seleccionadas en cada región vitícola desde hace unos años por organismos públicos, como el Instituto de Enología de Burdeos, el INRA en Montpellier, etc., u organismos semiprofesionales como el CIVC para la región de Champaña. De este modo, cada región vinícola utiliza unas cepas peculiares adaptadas a su entorno. Son estudiadas en laboratorio y luego comprobadas en cuba de fermentación de unas cuantas decenas de hectolitros, para asegurar unas cualidades organolépticas que comunica al vino en el transcurso de la fermentación alcohólica. La degustación sigue siendo el principal criterio de selección a este nivel, pese a la ayuda aportada por la cromatografía en fase gaseosa.

La selección de las cepas obedece a criterios muy estrictos. Deben asegurar una fermentación alcohólica de calidad (rápida y total). Deben poseer el carácter «killer» («matador»), estudiado por P. Barre, en el laboratorio de enología del INRA de Montpellier, que consiste en la secreción de una toxina que pueda inhibir la actividad de otras levaduras, en particular las de las levaduras nativas.[1] Las levaduras seleccionadas deben igualmente metabolizar poco SO_2, al ser éste susceptible de impedir el desarrollo de las bacterias lácticas necesarias en la segunda fermentación, la fermentación maloláctica. Del mismo modo, no deben desarrollar demasiada acidez volátil, que podría impartir un sabor avinagrado. Al final de la fermentación alcohólica, las levaduras, cuya concentración celular alcanza un máximo del orden de ciento cincuenta millones de células por mililitro, tienen tendencia a decantar, perdiendo su actividad.

Con estas condiciones de trabajo, las paralizaciones o los finales de fermentación difíciles son cada vez más raros. Sin embargo, los estudios prosiguen para mejorar el dominio de esta fermentación. Los trabajos realizados estos últimos años por el equipo de P. Ribereau-Gayon y S. Lafon en el Instituto de Enología de la universidad de Burdeos II y en el INRA, han permitido poner de manifiesto el cometido inhibidor en la actividad de las levaduras de los ácidos decanoico y dodecanoico producidos en el transcurso de la fermentación.[2] Estos mismos autores han examinado diversas soluciones, como la utilización de «cortezas» de levaduras (sus paredes) para absorber esos ácidos orgánicos y limitar así su acción nefasta en el proceso de vinificación.[3]

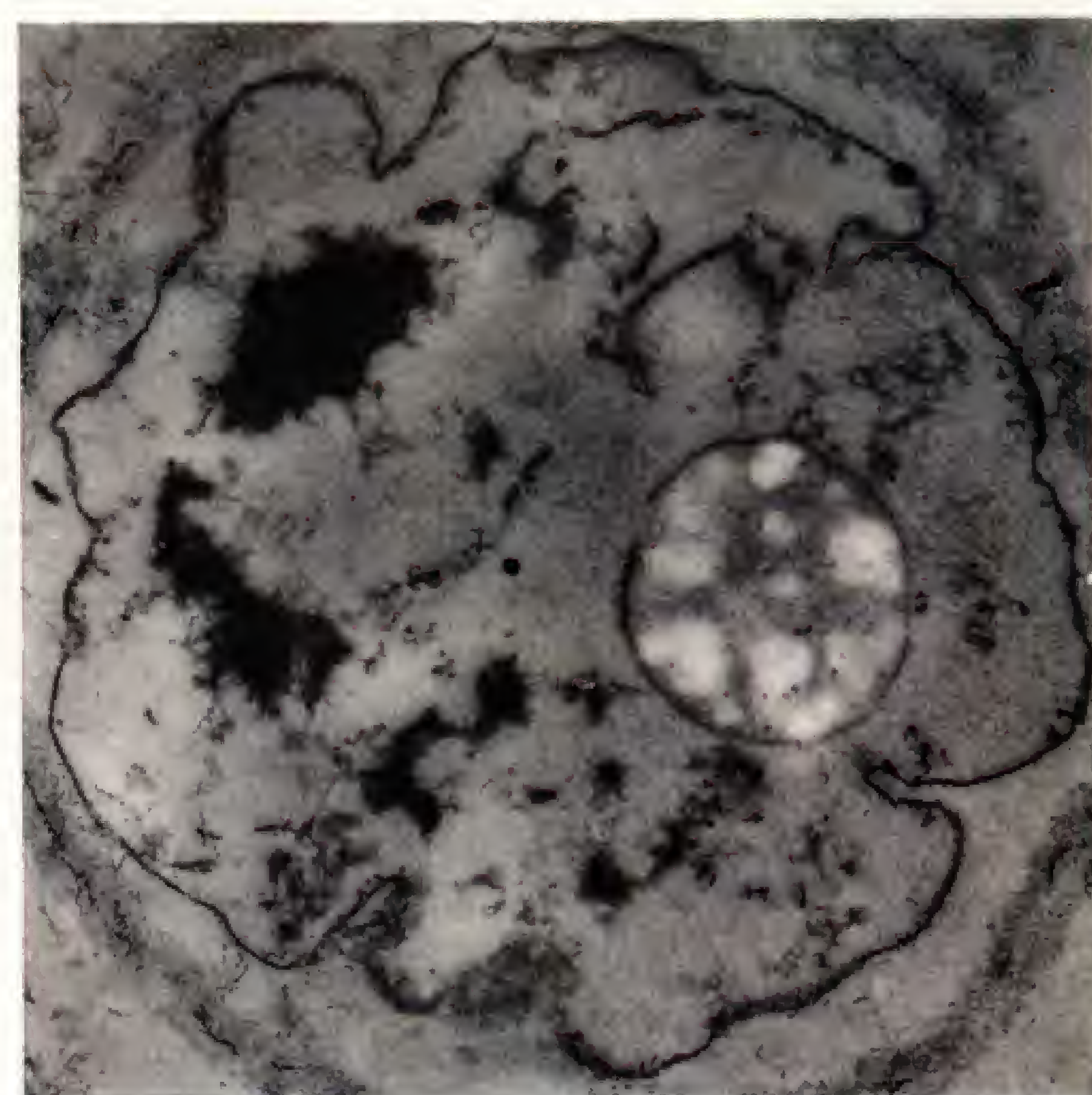


Figura 6. La última fermentación sufrida por el vino de champaña se produce en botella, por la acción de levaduras, y conduce a la formación de espuma.
Durante años, el vino de Champaña permanecerá en contacto con el sedimento de levaduras que se ha formado al final de la espumación: se trata de un envejecimiento de naturaleza bioquímica. Progresivamente, las levaduras van a autodestruirse por la acción de sus propios enzimas (fenómeno de autólisis), liberando unos compuestos que pueden entrar en la composición del vino.
Esta fotografía tomada con microscopio electrónico muestra una levadura autolisada tras nueve años de contacto con el vino. Podemos reconocer la membrana, netamente despegada de la pared celular. Uno de los orgánulos de las células de levadura, el retículo endoplásmico, se ha transformado en amplias cisternas de contenido homogéneo. Este tipo de documento debe servir para comprender mejor la evolución de las levaduras y los numerosos intercambios que establecen con el vino, permitiendo a éste adquirir unas cualidades organolépticas complementarias. Estos trabajos son realizados por R. Calvayrac, en el laboratorio de membranas biológicas de París VII, en colaboración con Moët et Chandon. (Foto Labo-membranas biológicas, París VII.)

A la fermentación alcohólica sucede inmediatamente la fermentación maloláctica. Para el champaña es con frecuencia la más investigada, lo cual no sucede con los demás vinos, cuya acidez y agresividad permite reducir. En el transcurso de esta etapa, el ácido málico (un biácido) procedente de la uva es transformado en ácido láctico (un monoácido), acompañándose la pérdida de una función ácida de una reducción de acidez. Esta fermentación se desarrolla generalmente de manera espontánea, merced a las bacterias lácticas pertenecientes a la especie *Leuconostoc oenos* que alcanzan a subsistir en el vino al

(1) P. Barre, *Bulletin de l'O.I.V.*, *57*, 635, 1984.
(2) S. Lafon-Lafourcade *et al.*, *App. Environ. Microbiol.*, *38*, 1069, 1984.
(3) F. Larue *et al.*, *Connaissance de la vigne et du vin*, *18*, 155, 1984.

final de la fermentación alcohólica. Pero las especialísimas condiciones que rigen este estadio (fuerte acidez, presencia de SO_2, elevado contenido en alcohol y baja temperatura) no favorecen el desarrollo de las bacterias lácticas. Por consiguiente, los vinificadores tratan ahora de provocarla. Puede ser más o menos facilitada manteniendo las instalaciones a unas temperaturas del orden de 20 °C, lo que resulta muy costoso en energía porque, nos hallamos ya en noviembre. Esto explica por qué, sobre todo antiguamente, esta fermentación se iniciaba tan lentamente; las más de las veces, con el retorno de las temperaturas suaves de la primavera.

Para intentar desencadenar rápidamente la fermentación maloláctica, algunos equipos alemanes, americanos, australianos, franceses, etc. han tratado de sembrar los vinos con cultivos de bacterias *Leuconostoc oenos.* Desgraciadamente, las condiciones en las cuales las bacterias realizan esta fermentación son complejas y mal conocidas; tanto es así que las biomasas multiplicadas sobre medio sintético en laboratorio se adaptan muy difícilmente al vino. Un método intermedio, desarrollado por A. Parenthoen en la casa Moët et Chandon, consiste en bloquear por medio del frío, cada año, unas cubas que hayan arrancado bien la fermentación maloláctica.[4] Conservadas a −2 °C durante todo el invierno, las cubas son recalentadas progresivamente unas semanas antes de las vendimias siguientes, lo que permite reactivar las bacterias, terminar las fermentaciones, y disponer así de una población de bacterias en plena actividad para sembrar los vinos del nuevo año.

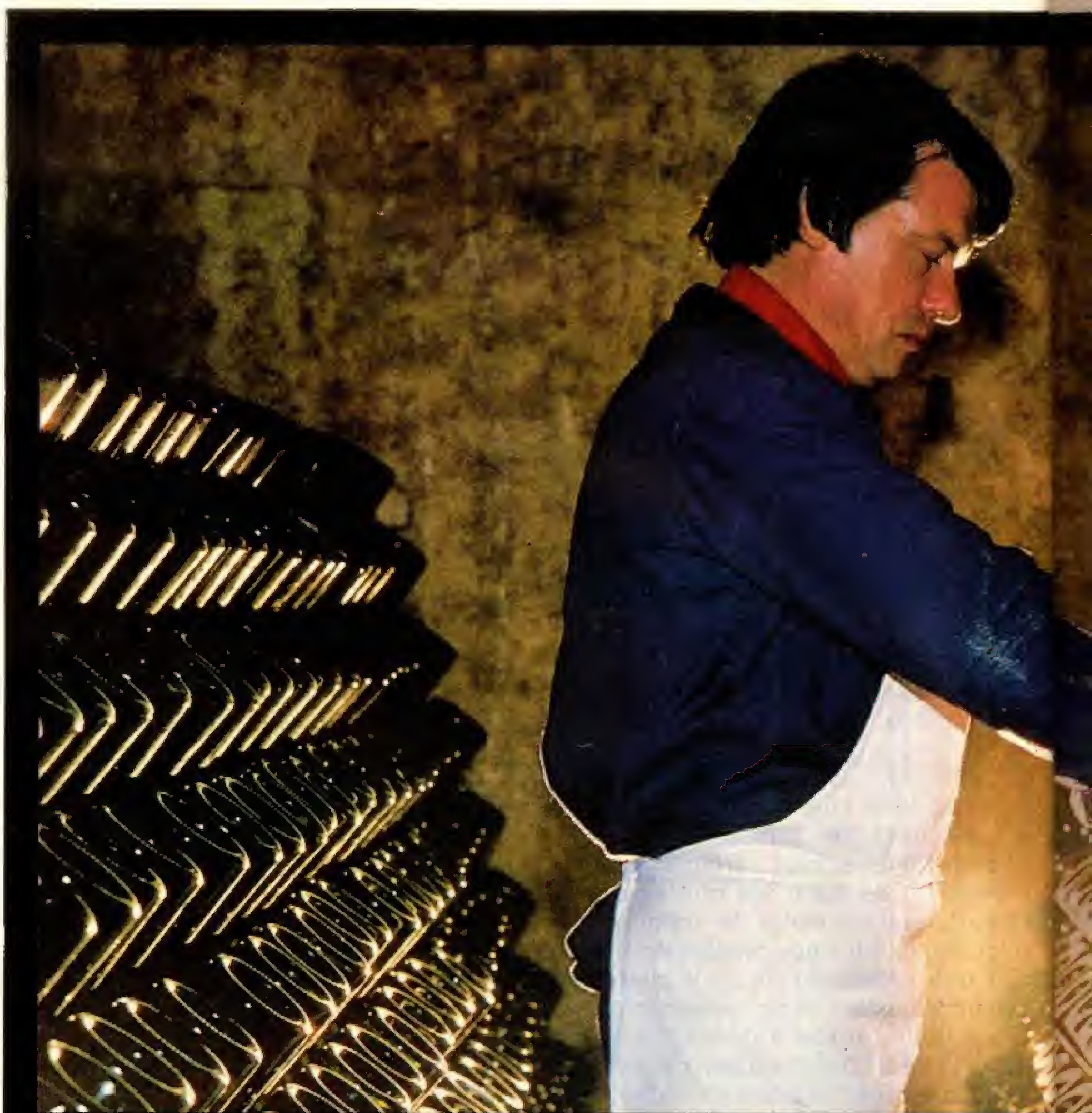




Figura 7. Al final de la elaboración del vino de Champaña perdura un sedimento constituido de levaduras, que debe ser eliminado. El método «champenoise» clásico consiste en inclinar las botellas y removerlas cada día durante uno o dos meses (fotos de arriba). El poso acaba por concentrarse en el cuello; tras haber sido congelado, es expulsado cuando la botella es abierta. Pero esta operación de removida resulta especialmente dificultosa y costosa. De ahí, que los especialistas hayan buscado el medio de simplificarla. Tenemos ya el removido mecánico, pero no es del todo satisfactorio. Los trabajos del INRA y del ESBANA, en Dijon, y luego los de Moët et Chandon y del CIVC han permitido obtener en laboratorio un nuevo procedimiento. Las células de levaduras destinadas a realizar la toma de espuma son introducidas en unas pequeñas bolas de alginato (foto inferior). Éstas, colocadas en la botella, tienen unas mallas suficientemente amplias para permitir que los azúcares del vino sean asimilados por las levaduras y que los compuestos liberados por las lebaduras pasen en solución al vino, contribuyendo a sus características organolépticas. Al ser las bolas ligeramente más pesadas que el vino, en unos minutos se concentran en el cuello de la botella, lo que para el removido representa una ganancia de tiempo considerable. Los champañas obtenidos son totalmente límpidos, ya que las levaduras incluidas quedan bloqueadas en la materia de alginato. Se está estudiando el desarrollo de este procedimiento a gran escala. (Fotos Moët et Chandon.)

(4) A. Parenthoen, *Revue française d'Onologie*, *84*, 47, 1981.



Contrariamente a una opinión extendida, el champaña envejece.

Hay en curso otros trabajos para tratar de dominar la fermentación maloláctica. En particular, M. Feuillat, en el laboratorio de enología de la universidad de Dijon se dedica a identificar ciertos péptidos del vino susceptibles de favorecer el desarrollo de la flora bacteriana.[5] A la inversa, D.A. Pilone y B. C. Rankine en Australia, C.S. Ough y R.E. Kunkee, en Estados Unidos, han puesto de manifiesto el efecto inhibidor en esta fermentación del ácido fumárico presente en el vino.[6,7] Pero estos estudios todavía no han recibido aplicación. ¿El dominio de la fermentación maloláctica tendrá solución en la ingeniería genética? Es la vía actualmente explorada por diversos equipos, en especial en Francia, en el Instituto Nacional de Agronomía de París-Grignon, en el INRA de Montpellier y en el Instituto de Enología de Burdeos. La idea consiste en aislar de las bacterias lácticas el gen que codifica para el enzima responsable de la fermentación maloláctica, a fin de integrarlo en unas levaduras del tipo *Saccharomyces*. Éstas serían capaces, pues, de efectuar la fermentación maloláctica, además de la alcohólica. En consecuencia, no habría que realizar más que una sola siembra. Actualmente, estos trabajos no están sino en sus comienzos.

Casar las cepas

Al final de estas dos fermentaciones, o a veces entre ambas, los vinos son trasegados. Esta operación consiste en trasvasar los vinos de una cuba a otra a fin de limitar los contactos con las heces depositadas al final de fermentación, constituidas de levaduras, bacterias, tártaro y otras materias sólidas.

En este estadio es cuando los vinos sifrirán en el laboratorio un análisis completo de los azúcares restantes, de la tasa de alcohol, de la acidez volátil, de los ácidos orgánicos, del SO_2, etc. Cada cuba será degustada a fin de examinar su calidad y definir la composición de los diferentes conjuntos destinados a preparar las cupadas características de cada casa. En efecto, contrariamente a la mayoría de los grandes vinos, el champaña es un vino de unión, es decir, que tratará de casar las características de las diferentes cepas, de los diferentes caldos, de diferentes años (salvo para los vinos de cosecha) conservando unos vinos de reserva con miras a encontrar año tras año, el carácter requerido por la casa para cada una de sus cupadas. A título de ejemplo, el chardonnay interviene en la mezcla por su finura y su ligereza, el pinot noir comunica al vino el armazón, el cuerpo, y el pinot meunier ciertos aspectos más afrutados y de redondez.

Realizada la mezcla definitiva, el vino va a sufrir una estabilización al frío. Este tratamiento, realizado de forma continua o discontinua, consiste en llevar al vino a una temperatura próxima a su congelación (– 4 °C), a fin de cristalizar el bitartrato de potasio que se ha formado a partir del ácido tartárico y del potasio contenido en la uva. Si esta operación no se realiza, puede dificultar el trasiego del vino por formación de placas. También puede provocar el fenómeno de surtidor dando lugar a una desgasificación intempestiva en el transcurso de la operación de degüelle. Tras el tratamiento por frío, los vinos son generalmente filtrados (en filtros o cartones de gel de sílice), lo que permite obtener un producto brillante libre de las últimas materias orgánicas o amorfas en suspensión. Estas diferentes operaciones de tratamiento físico deberían, beneficiarse en lo sucesivo de los progresos realizados en los campos de la filtración a través de membrana, tangencial, etc.

Hemos llegado ya a la etapa característica de la elaboración del champaña: la esfumación. Se trata de una segunda fermentación alcohólica que se desarrolla en la botella. En este estadio de la vinificación, el vino, si no es estéril, está poco cargado de microorganismos, tanto así que una nueva fermentación sería muy difícil. Para favorecerla, el vino es mezclado entonces en una cuba con un licor y sembrado con levaduras.

El licor en cuestión, es una suspensión de azúcar de caña o de remolacha en un vino de calidad comparable al que lo recibe. La concentración en azúcar en la mezcla será entonces de 22 a 25 gramos. Dando la fermentación de 4 gramos de azúcar lugar al desarrollo de una presión de una atmósfera en una botella a 10 °C, la cantidad de azúcar añadida permite obtener una presión de 5 a 6 atmósferas en una botella de champaña y aumentar el contenido en alcohol del vino en 1,3 a 1,5 grados. También ahí se realiza una siembra con cepas de levaduras seleccionadas. Pero las cepas son diferentes. Aquí se trata de cepas de *Saccharomyces bayanus*, más resistentes al alcohol que las *Saccharomyces cerevisiae* de la primera fermentación alcohólica. Las levaduras son igualmente comercializadas en forma de levaduras secas o multiplicadas en forma de fermento líquido. En ambos casos es necesario adaptar previamente las diferentes preparaciones de levaduras a las condiciones muy estrictas de esta espumación realizada en las bodegas de Champaña (contenido en alcohol de 11° - 11,5°, pH de 3,1 a 3,2, temperatura de 11 a 13 °C, etc.).

El vino tratado con licor y levaduras es inmediatamente trasvasado, es decir embotellado, de modo que no provoque un principio de fermentación en la cuba de mezcla (fig. 2). Son necesarias cinco a ocho semanas para el desarrollo de la fermentación en botella. La botellas son almacenadas, encamadas en las bodegas. Transcurrida aproximadamente una semana, la población de levaduras se ha desarrollado (pasa de un millón a diez millones de células por mililitro). Cuando la fermentación en botella ha terminado, las levaduras, que habían quedado más o menos en suspensión dentro del vino, se depositan en el fondo de la botella. Cabe añadir diferentes adyuvantes al vino, bien para estimular la fermentación en botella (fosfato biamónico, tiamina), bien para facilitar su manipulación ulterior, necesaria para la expulsión del sedimento de levadura formado (cola proteica, bentonita, taninos, alginatos, etc.).

El champaña también envejece

«Cuando se saca el vino, hay que beberlo». No del todo, porque para tener la denominación «champaña» el vino debe permanecer al menos un año en botella antes de la comercialización, para las cosechas corrientes, y tres años para las cosechas de reserva. Por razones cualitativas, estas esperas son generalmente más largas: dos a tres años para las cosechas corrientes, cinco a seis años, al menos, para las cosechas especiales.

En el transcurso de este largo período, y éste es uno de los aspectos que lo diferencia de la mayoría de los otros vinos, el vino de Champaña permanecerá en contacto con el sedimento de levaduras que se ha formado al final de la espumación. Progresivamente, las levaduras van a autodestruirse por la acción de sus propios enzimas (fenómeno de autólisis). Muchos intercambios van a realizarse entonces entre las levaduras y el vino, permitiendo a este último adquirir unas cualidades organolépticas complementarias (fig. 6). A este envejecimiento de origen bioquímico viene a yuxtaponerse un envejecimiento de origen químico comparable al de todos los vinos, tintos y blancos, en que una lenta oxidación modifica la tonalidad amarillenta y el «bouquet» del producto.

El envejecimiento del champaña con levaduras sigue siendo hasta hoy un problema muy poco estudiado, a pesar de su importancia para la calidad del producto. Habida cuenta de la gran riqueza de las células de levaduras en proteínas, los compuestos nitrogenados han sido los constituyentes más estudiados para probar de seguir la evolución de la autólisis. Diversos autores, entre ellos M. Feuillat, han puesto así de manifiesto el enriquecimiento del vino en aminoácidos excretados por la levadura en el transcurso de la autólisis, sin que haya sido posible aún vincular este fenómeno a una mejora cualitativa del vino.[8]

Si estos resultados son controvertidos, no deja de ser menos cierto que la autólisis en botella permite a ciertas actividades enzimáticas (proteasas, nucleasas, glucanasas, etc.) expresarse y

(5) M. Feuillat, *C.R. Acad. Sc. Paris, 285*, 1013, 1977.
(6) G.J. Pilone, *in Lactic acid bacteria in beverages and foods*, J.G. Carr *et al.*, (eds.), Academic Press, 1975.
(7) C.S. Ough, R.E. Kunkee, *Am. J. Enol. Vitic., 25*, 188, 1974.
(8) M. Feuillat, C. Charpentier, *Am. J. Oenol. Vitic., 33*, 6, 1982.

liberar en el vino diferentes compuestos: polipéptidos, ácidos nucleicos, polisacáridos, etc., que pueden influir en las cualidades organolépticas del champaña. Sin embargo, falta cualificar y cuantificar este fenómeno.

En el transcurso del envejecimiento con heces, también evoluciona la composición en compuestos volátiles de los vinos de Champaña. Los compuestos volátiles son unos constituyentes esenciales de la calidad de los vinos. Algunos son específicos de una vid y permanecen inalterados. Otros son producidos en las diferentes fermentaciones sufridas por el vino. Otros, en fin, aparecen durante el envejecimiento; se comprueba, por ejemplo, un enriquecimiento en compuestos volátiles como el metil-2 etoxi-2 furano o el dimetil 4-5, tetrahidrofuranodiona 2-3, responsables del olor afrutado o de nuez verde, como ha demostrado D. Loyaux en la universidad de Dijon.[9] Sin embargo, no se trata más que de resultados muy parciales, ya que si estos últimos años han podido ser identificados en los vinos o los champañas varios centenares de compuestos, su formación, su importancia organoléptica, sola o en mezcla, está aún por dilucidar.

Algunos compuestos volátiles pueden ser nefastos según su concentración, como el H_2S, el acetado de etilo y el ácido acético, el isoamilacetato (que da un sabor a bombón inglés), el octenol (hongo enmohecido), el aldehido benzoico (almendra amarga), etc. La mayoría de estos defectos pueden ser evitados con un buen dominio de las fermentaciones. Por último, los llamados fotosabores (debidos a diferentes compuestos azufrados) pueden desarrollarse cuando el champaña es sometido durante varias horas a la acción de los ultravioletas. El mecanismo de formación de los compuestos responsables de este defecto es particularmente estudiado por A. Maujean en el laboratorio de Enología de la facultad de ciencias de Reims.[10]

¿Se cuestiona el removido tradicional?

Cuando el champaña se juzga apto para la comercialización tras numerosas degustaciones, es necesario eliminar la levadura autolítica que se ha depositado a lo largo de la botella, de modo que se obtenga un producto cuya limpidez sea absolutamente perfecta. Esto se realiza por medio de la operación de «removido» destinada a concentrar el sedimento de levadura en el cuello de la botella. Las botellas son colocadas, pues, en unos botelleros de madera, en posición ligeramente inclinada. Cada día el personal imprime a las botellas una rotación de un cuarto o un octavo de vuelta, ora a la izquierda, ora a la derecha; simultáneamente se las levanta ligeramente para llevarlas progresivamente a una posición próxima a la vertical, cuello hacia abajo. De este modo, el sedimento se desliza poco a poco en la botella hacia el cuello. Se necesitan uno a dos meses para conseguir concentrarlo, lo que representa un importantísimo trabajo de manipulación y requiere un espacio en bodega (fig. 7).

Para paliar el costo y la dificultad de tal operación, estos últimos años se han propuesto diversas soluciones. La estación enotécnica de Champaña en particular ha desarrollado un sistema mecánico conducido por microprocesadores que permite simular el removido manual sobre lotes de unos centenares de botellas. Aunque cada vez más utilizado, el removido mecánico no resuelve completamente la operación.

Actualmente están en estudio otras técnicas de naturaleza bioquímica. El CIVC se dedica a investigar unas cepas de levaduras que se aglomeran mucho más fácilmente tras la espumación y en el momento del removido, de modo que esta operación se reduzca a unos días. Sin embargo, las cepas actualmente seleccionadas no siempre presentan las cualidades organolépticas deseables. En base a patentes y trabajos efectuados en el INRA de Dijon y en la Escuela Nacional Superior de Biología Aplicada a la Nutrición y a la Alimentación (ENSBANA) de Dijon, especialmente por C. Divies, se han realizado otras investigaciones por Moët et Chandon y el CIVC.[11] Consisten en incluir las células de levaduras en pequeñas bolas de alginato que luego son introducidas en las botellas para realizar la espumación. Las mallas del gel alginato son bastante finas para retener las levaduras en el interior, pero son suficientemente amplias para permitir que los azúcares del vino sean asimilados por las levaduras, y que los productos liberados por éstas pasen en solución al vino (fig. 7).

Las experimentaciones actuales revelan que se trata de una técnica muy prometedora, ya que tras dos años de conservación con heces, los champañas obtenidos son comparables a los champañas de control. Las bolas, ligeramente más pesadas que el vino, en unos pocos minutos se concentran en el cuello de la botella, lo que en el removido representa una ganancia de tiempo considerable. Los champañas quedan absolutamente límpidos, ya que las levaduras incluidas quedan bloqueadas en el gel de alginato. Moët et Chandon y el Instituto enológico de Champaña tratan ahora de desarrollar este procedimiento a gran escala.

Cualquiera que sea la manera en que el sedimento de levaduras se ha concentrado en el cuello de la botella, después es preciso eliminarlo. Para conseguirlo, el cuello se pasa por una salmuera a (−25 °C) que congela el sedimento. Luego, se abre la botella y la presión interna de 5 a 6 bares permite expulsar inmediatamente el témpano que contiene el sedimento. Un licor de «expedición» constituido de una solución de azúcar de caña en un vino rancio de champaña, y a veces un poco de alcohol de coñac, se añade también al champaña. Esta operación tiene por objeto mejorar el vino, si no resulta en general demasiado seco: de este modo se obtiene el brut, extra-seco, seco, semiseco y dulce. Luego, la botella se tapa con corcho introducido a presión y mantenido por medio de un precinto de alambre. Las botellas permanecerán todavía algunas semanas en bodega para una buena homogeneización del licor de expedición antes de ser etiquetadas y expedidas.

Nos encontramos ya al final de la larga y delicada elaboración del vino de Champaña. Desde hace unos decenios, la investigación en enología se ha estructurado, en especial a través de los organismos públicos, de forma que los elaboradores de vino se benefician de los progresos técnicos. Naturalmente, la Champaña vinícola se ha asociado a este movimiento. La rápida evolución de las biotecnologías (cultivo *in vitro*, genética de los microorganismos, etc.) y especialmente de las técnicas de análisis ha permitido vislumbrar nuevas mejoras. Es probable que de las diferentes investigaciones en curso surjan algunas aplicaciones prácticas. En consecuencia, debemos permanecer atentos a esta evolución, a fin de determinar en qué medida las innovaciones pueden adaptarse a nuestro quehacer y ayudarnos a progresar. Pero en ningún caso puede tratarse de «revolución». Tenemos la responsabilidad de un patrimonio que implica una «progresión en la tradición». No debemos olvidar que estamos elaborando un producto alimentario tradicional, que debe seguir siendo natural y de gran calidad. ■

Para más información:

- J. Ribereau-Gayon, E. Peynaud, P. Ribereau-Gayon, P. Sudraud, *Traité d'oenologie*, 1972-1977; *Sciences et techniques du vin*, tomos 1, 2, 3, 4, Dunod Bordas.
- P. Bidan, *Les vins mousseux*, Serie síntesis bibliográficas n.° 7, CDIUPA, 1975.
- M. Dovaz, *L'encyclopédie des vins de Champagne*, Julliard, París, 1983.
- F. Bonal, *Le livre d'or du champagne*, Edition du Grand Pont, 1984.
- P. Bidan, M. Feuillat, J.P. Moulin, «Los vinos espumosos, sección II, técnicas de elaboración y de apreciación de la calidad, informe nacional de Francia», 65.ª asamblea general de la OIV-París, en *Bulletin de l'OIV*, *59*, 562, 1986.
- «Historia y bioquímica del vino de cava», *Mundo Científico*, n.° 20, p. 1242.
- Para una bibliografía más completa véase la página 228.

(9) D. Loyaux, Tesis doctorado ingeniería, Universidad de Dijon, 1980.
(10) A. Maujean, N. Seguin, *Sciences Aliments*, *3*, 589, 1983.
(11) P. Coulon *et al.*, *Le vigneron champenois*, *104*, 516, 1983.

El *cava*. Un genuino método «champenois»

■ Perfectamente aclimatadas al ecosistema del Penedés, las tres variedades blancas predominantes (Macabeo, Xarel·lo y Parellada) constituyen la base fundamental a partir de la cual se elaboran los vinos tranquilos que después darán origen a los aproximadamente 100 millones de botellas elaboradas por el sistema *Cava*. Cada una de las variedades es prensada por separado, con una extracción máxima de mosto permitida y raramente alcanzada de 100 l por cada 150 kg de uva.

Debido al escalonamiento producido en la maduración de las tres variedades, las vendimias se prolongan a lo largo de más de 40 días. Positivo y raro fenómeno, que es aprovechado para realizar con esmero prensado y vinificación y para dirigir con especial cuidado las fermentaciones.

Una vez obtenido el vino de cada tipo de uva por separado, se clasifica y ulteriormente se mezcla donde, además de la proporción adecuada de cada una de las tres variedades, puede añadirse una determinada cantidad de vino de Reserva procedente de vendimias anteriores, para conseguir el máximo equilibrio en esta mezcla que se conoce como cupada o vino base.

El vino base está ya preparado para el embotellado; entonces se adicionan azúcares y levaduras especialmente seleccionadas para que en honda quietud y a humedad y temperatura (10°-15°) constantes tenga lugar la fermentación en botella o «toma de espuma». Proceso lento, previo al largo periodo de envejecimiento, donde el íntimo contacto de las levaduras con el vino durante varios años, la presión del carbónico endógeno y el medio reductor originarán el característico *bouquet* de este producto.



Grabado original de Enrique C. Ricart.

Una vez llegadas las botellas a su edad óptima hay que dejarlas limpias sin que se pueda filtrar el vino. Ello tiene lugar con la operación de removido en que, mediante la colocación de la botella inclinada boca abajo en el pupitre y a través de una sabia y delicada manipulación, se concentrará todo el sedimento en el cuello junto al tapón de la botella.

Una vez logrado procede eliminar el sedimento sin ensuciar el vino, para lo cual y con la botella siempre invertida se procede a congelar la parte del cuello donde van los sedimentos y restos de levaduras, para realizar a continuación el destapado («Degüelle»), en que la sobrepresión interior expulsa el pequeño fragmento de vino congelado junto con los sedimentos, dejando el resto totalmente limpio.

Evidentemente, hay una ligera pérdida de vino que será compensada con el llamado «licor de expedición», cuya mayor o menor cantidad nos originará los tipos «Brut», «Seco», «Semi-seco» y «Dulce», que constituyen la gama de los cavas en el mercado.

La botella se tapa con corcho de la mejor calidad, y después de un periodo de reposo donde se vuelve a restablecer el equilibrio ligeramente alterado en la operación «degüelle», queda dispuesto para su decoración y posterior consumo.

Entre las muchas características peculiares de este vino, además de su especial elaboración, debemos citar, puesto que son de suma importancia, las condiciones adecuadas de conservación y consumo.

No deben conservarse demasiados años después de su salida al mercado, pues su óptimo de calidad se da en el momento de salir de la cava.

Hay que guardar las botellas en lugar fresco, seco y oscuro, siempre tumbadas para evitar pérdidas de gas por el tapón.

La temperatura de consumo debe ser de 6° a 8° C.

Los momentos adecuados para disfrutar un *Cava* son variados, combinando perfectamente sus diferentes tipos con una amplia gama de menús.

Los tipos jóvenes bruts o secos son aconsejables con aperitivos, cócteles y pescados; los bruts más envejecidos y los reservas, para carnes; los semisecos y los dulces, para postres. Y siempre en toda ocasión, donde lo extraordinario del evento lo requiera, es el colofón insustituible un brindis con el mejor y más completo entre los vinos: El *Cava*.



«Cartel de Ramon Casas», presentado al concurso convocado por Codorniu en 1898. Nótese la presencia en el mismo de la palabra «Champagne», hay que recordar que la protección de las denominaciones de origen geográficas, no se empezó a llevar a la práctica, hasta la firma del Convenio de Lisboa de 1958.



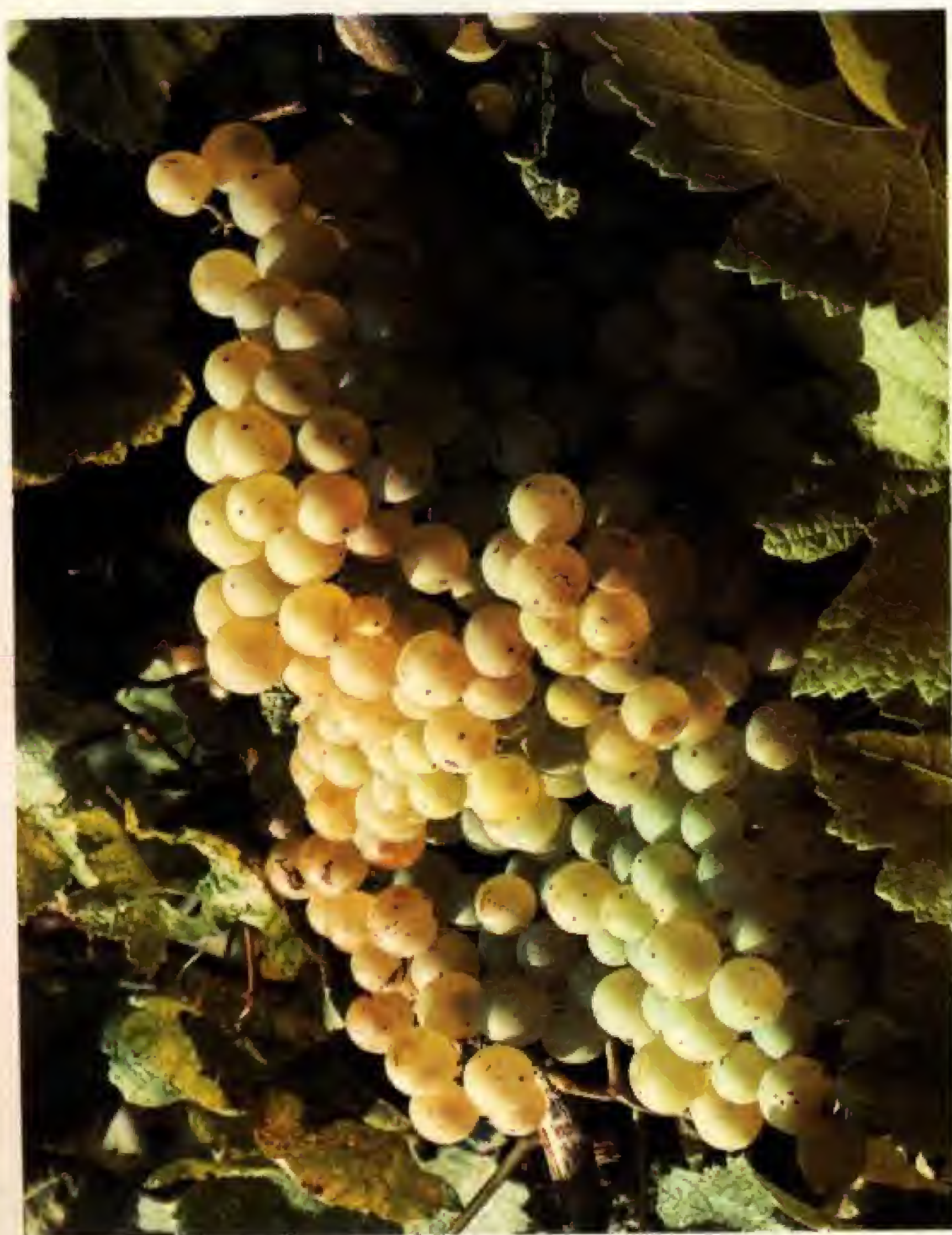


Macabeo

Parellada

Xarel·lo

Chardonnay





Las tres variedades blancas, Macabeo, Xarel·lo y Parellada, con personalidades propias y armónicamente complementarias constituyen la base de Cava blanco. Una nueva variedad blanca, el Chardonnay, de reconocido prestigio y calidad, aporta desde hace poco tiempo nuevas características a las mezclas tradicionales.

Juan José de Castro Director Técnico y de Control e Investigación de Codorniu, S.A.
Lluís Ràfols Técnico responsable de Investigación Aplicada de Codorniu, S.A.

Dejará de crecer la población mundial?

En 1963, las Naciones Unidas preveían una población de 7.500 millones de personas para el año 2000. Hasta los años 1970-1975, esta previsión parecía razonable habida cuenta de la evolución real de la población mundial. Pero recientemente, las mismas Naciones Unidas han revisado sus previsiones a la baja y sólo se prevén 6.140 millones de personas para el año 2000.

¿Cómo puede explicarse esta diferencia? Un grupo de demógrafos ha abordado esta cuestión en un reciente número de *Notes et études documentaires*, publicado por la Documentación francesa. Analizando los datos actuales, Carmen Mata y Olivier Belbeoch exponen las razones que hacen pensar que la población mundial quizá se estabilizará en el siglo XXI.[1]

Un viejo modelo adaptado al gusto actual

Para explicar estas revisiones y compararlas con las cifras actuales, C. Mata y O. Belbeoch recurren a un modelo explicativo preparado en los años 1930: la transición demográfica. ¿De qué se trata?

Simplemente, de examinar la evolución demográfica en función de los índices de natalidad y de mortalidad. Basada en la evolución de los países de Europa en el transcurso de los dos últimos siglos, la transición se descompone en tres fases. La primera, pretransitoria, corresponde a un crecimiento lento de la población, con una mortalidad y una natalidad igualmente importantes. Actualmente, esta fase correspondería principalmente a África. Sigue la fase de transición propiamente dicha, caracterizada en primer lugar por una considerable natalidad y una mortalidad en retroceso, lo que implica un fuerte aumento de la población. Luego, la natalidad también disminuye y, en consecuencia, el crecimiento de la población es más lento. La mayoría de los países en vías de desarrollo se hallan hoy en esta situación. La última fase, postransitoria, que corresponde esencialmente a los países occidentales, es de crecimiento reducido, debido a los bajos índices de natalidad y de mortalidad.

Muy criticado en los años 1950 y 1960, este modelo, según los autores mencionados, parece cumplirse desde hace unos quince años. Si el modelo de la transición demográfica fue criticado en su día, se debió a que se le reprochaba aplicar a los países en desarrollo las mismas normas que a los países industrializados. Y, en realidad, los índices de natalidad y de mortalidad son más elevados en los países que están en vías de desarrollo, en los que alcanzan un 40 a un 45 % contra el 35 al 40 % en los países desarrollados en el transcurso del período pretransitorio. Por otra parte, la transición demográfica, que llega más tardíamente a los países del tercer mundo, es en aquéllos mucho más rápida y afecta a masas de población que no pueden medirse con el mismo rasero que las poblaciones europeas. Mientras que la mortalidad decae rápidamente gracias a los progresos de la medicina, la natalidad sigue siendo elevada y los índices de crecimiento son de dos a tres veces más altos que los que presentan los países desarrollados. Por este motivo, África ofrece, entre 1980 y 1985, unos índices de crecimiento de 3,5 a 3 %, mientras que los de Europa, a comienzos de siglo, eran de 1 a 1,5 %. Finalmente, si la transición demográfica en los países desarrollados ha ido acompañada de una transformación económica, no ha ocurrido así en los países en vías de desarrollo.



Según otros demógrafos, este modelo ha de aplicarse, por el contrario, a los países en desarrollo, ya que, según les parece, refleja el impacto económico sobre la evolución demográfica. Comparan países como Japón, que han conocido un despegue económico verdaderamente importante, aunque más tardío que el de los países occidentales, y que han entrado claramente en un proceso de transición demográfica, con África, poco afectada por este desarrollo y que conserva unos índices de natalidad muy elevados.[2]

Todos los demógrafos están de acuerdo en considerar que la evolución de la natalidad es un punto crucial para las previsiones, ya que la cuestión estriba en saber si los países en vías de desarrollo han entrado en una fase de descenso de la natalidad. Ahora bien, la situación es muy distinta según los países. Al lado de África, cuyos índices de fertilidad casi no han variado, los países de América Latina han pasado de una fecundidad de 5,9 hijos por mujer entre 1950 y 1955 a 4,2 en la actualidad. En Asia oriental, el descenso es todavía más importante: de 5,4 hijos por mujer a 2,1 en 1985. Es precisamente esta sensible baja de natalidad la que ha movido a las Naciones Unidas a reajustar sus previsiones para el año 2000, ya que si va prosiguiendo (especialmente si los índices de los países africanos y de los islámicos disminuyen), el crecimiento de la población mundial será menos elevado de lo que se preveía. Y, en realidad, los indicios que presentan algunas ciudades o etnias africanas especialmente muestran una tendencia a la baja de las tasas de natalidad.

África será el continente más poblado

Sin embargo, hay que precisar que, a causa de la lentitud de las fluctuaciones demográficas y de las considerables masas de población a las que afectan, se espera una explosión demográfica hacia fines de siglo (+ 27 % de la población mundial) antes de la estabilización. Pero si ésta se produce, se asistirá paralelamente a un cambio en la distribución de los hombres sobre el planeta. África será el último continente en estabilizarse, a causa de su fuerte crecimiento actual, y pasará a ser el más poblado, con unos 2.600 millones de habitantes. Le seguirá Asia meridional, con 3.300 millones de habitantes previstos para 2075. Y la población de los países industrializados tan sólo representará la sexta parte de la mundial, contra la cuarta parte que supone hoy.

¿Es una hipótesis plausible la estabilización de la población mundial para el año 2110? Todo dependerá de la evolución de la natalidad en los países en vías de desarrollo que todavía no han entrado en esta evolución. ¿Es irreversible la baja constatada en algunos de estos países, o se trata de una simple fluctuación? La respuesta, el año 2000.

Dorothée Noblet.

(1) O. Belbeoch *et al.*, «La population mondiale», *Notes et études documentaires, 4806*, 1986.
(2) J.-C. Chesnais, *La transition démographique*, Presses universitaires de France, 1986.

Cuvier y Lamarck: la

Jean-Baptiste de Monet, caballero de Lamarck, fue uno de los más grandes naturalistas de principios de siglo XIX. Los diccionarios usuales suelen citar su* Philosophie zoologique*, publicada en 1809, y le reconocen el mérito de haber «establecido las bases del transformismo». Es decir, de la teoría según la cual las diversas especies vegetales y animales derivan de uno o varios tipos primitivos gracias a transformaciones sucesivas, hoy concepto universalmente admitido. Hacia 1800, sin embargo, se aceptaba todavía que la narración bíblica era la explicación de origen de las formas vivientes; se creía que Dios había creado las especies por separado, fueran estas animales o vegetales. Lamarck, por el mero hecho de haber propuesto, una interpretación global de la transformación de las especies, desempeñó un indudable papel precursor. Pero luego vino Darwin, quien en 1859 publicó su libro sobre* El origen de las especies*, y hay que reconocer que la reputación de Lamarck se resintió por ello... Nadie discute que el francés estableció lo que se ha dado en llamar «el hecho de la evolución». Pero es a Darwin a quien se reconoce el mérito de haber dado con la explicación correcta de los fenómenos evolutivos gracias a su teoría de la selección natural. Se reprocha a Lamarck el haber creído en la herencia de los caracteres adquiridos (olvidando que también Darwin aceptaba la idea...) El lamarckismo, sobre todo en el mundo anglosajón, es considerado como un comienzo desafortunado, como una teoría más bien «fracasada». Incluso en Francia, la importancia de Lamarck ha sido a menudo subestimada. Pues tuvo en frente al gran Cuvier, un maestro indiscutido, radicalmente hostil a las ideas transformistas. Cuando se evocan las controversias entre ambos hombres, se tiende demasiado a menudo a presentar a Lamarck como al vencido. En el artículo que sigue, Goulven en Laurent trata de dar una imagen más equitativa de los trabajos lamarckianos. En realidad, el naturalista francés consiguió descalificar la teoría catastrofista de Cuvier, teoría según la cual la historia de la Tierra estuvo marcada por catástrofes universales seguidas de nuevas «creaciones». Con ello hizo posible nuevas interpretaciones de estilo transformista. Lejos de ser un teórico secundario oscurecido por los dos gigantes Cuvier y Darwin, Lamarck realizó aportaciones decisivas cuyo interés, por lo demás, fue bien comprendido por sus contemporáneos.



a querella del catastrofismo

por Goulven Laurent

A principios del siglo XIX, un violento conflicto motivado por problemas biológicos fundamentales opuso a dos de los más grandes naturalistas franceses de aquel tiempo: Cuvier y Lamarck. A menudo, este enfrentamiento es presentado de un modo simplista y parcial, como si los dos científicos se hubieran enfrentado sólo por lo que se refiere al *transformismo*, teoría según la cual las especies vivientes derivan unas de otras por transformaciones progresivas.

De ello resulta una deformación de las perspectivas, una versión rudimentaria que cabe resumir así: en 1800, Lamarck habría cometido el error de proponer al mundo ilustrado una teoría transformista a la cual habría sido incapaz de dar una base factual sólida; afortunadamente, Cuvier habría estado allí para refutarla. Gracias a esta intervención decisiva, la teoría lamarckiana cayó en el olvido, por no decir en el ridículo, hasta que llegó Darwin y resucitó en otra forma la idea transformista. Según esta versión, Lamarck sería el vencido y su gran libro sobre *La philosophie zoologique* (1809) no sería más que un mal comienzo, una versión prematura e inconsciente del futuro evolucionismo.

Como voy a tratar de demostrar, esta manera de contar la historia es inexacta; disimula otro debate importante y no hace justicia a Lamarck. Pero la existencia misma de esta deformación histórica se explica con bastante facilidad. Hoy día, en efecto, la teoría de la evolución es una teoría dominante, aceptada por científicos y filósofos y ampliamente difundida; a lo cual hay que añadir que la referencia a Darwin se ha vuelto preponderante, bien a través de la teoría «neodarwiniana» bien a través de la «teoría sintética» formulada en los años 1930 y 1940. En el mundo anglosajón, en particular, el naturalista inglés ha sido mucho más estudiado, y el centenario de su muerte, en 1982, contribuyó a reforzar esta tendencia. Por desgracia, esta polarización de la atención en Darwin hizo que se desatendiera el estudio del período anterior, al menos por lo que a Francia se refiere. En general, los historiadores no han destacado bastante la intensa preparación que precedió y explicó el éxito del darwinismo. Algunos defensores incondicionales de esta teoría han tendido demasiado a hacer el vacío ante este gran hombre, como si su evocación hiciera temer algo del aporte del período anterior.

Claro que hay otro enfoque posible, un enfoque simplemente deseable por el bien del conocimiento objetivo. El nacimiento del transformismo fue laborioso y tuvo aspectos inesperados. Para estudiar este momento apasionante de la historia del pensamiento, hay que evitar mirar el pasado con la atención excesivamente puesta en las ideas teóricas que se impondrían ulteriormente. En este artículo, presentaré las controversias que opusieron a Cuvier y Lamarck considerándolas en su contexto, es decir, en el entorno cultural del París de aquel tiempo; así será posible comprender su significado y ponderar las repercusiones que tuvieron en sus contemporáneos. El antiguo Jardin des Plantes acababa de ser reorganizado en 1973 con el nombre (que ha mantenido desde entonces) de Muséum d'Histoire Naturelle y el cuerpo profesoral había sido reestructurado. En su seno, varios sabios, entre ellos Lamarck, habían sido confirmados; otros eran nuevos, entre ellos Etienne Geofrey Saint-Hilaire (1772-1844) y, algo más tarde, Cuvier. En Francia se vivía todavía la efervescencia revolucionaria y se ignoraba que el cónsul Bonaparte, por nombre Napoleón, le habría de poner fin. Esta localización histórica es importante, pues explica a un tiempo las audacias contemporáneas y los rechazos posteriores.

Pero en aquel tiempo, es decir, entre la Revolución y los inicios del siglo XIX, el gran asunto que acaparaba la atención de los naturalistas eran la doctrina

◀ *Cuvier (1769-1832) fue un desconocido en Francia hasta 1795. Nacido en Montbéliard, era súbdito alemán por nacimiento; además, era protestante. Paradójicamente, estas dos condiciones, que habrían podido «marginarle» en el seno de la sociedad francesa, contribuirían a su éxito en la capital. En ello influyó en gran parte la época: el deshacer las instituciones y dispersar a los hombres situados, la Revolución permitió que algunos jóvenes dotados y ambiciosos consiguieran hacer carrera (piénsese por ejemplo en Bonaparte, de la misma edad que Cuvier y extranjero como él). Cuvier, a los 26 años, llegó a París con dos ideas nuevas, tomadas ambas de naturalistas alemanes o protestantes, de Blumenbach en particular: de una parte, la preeminencia de la anatomía comparada en las disciplinas zoológicas, y de otra, la doctrina del catastrofismo. Según esta doctrina, que concernía directamente a la geología, hubo en tiempos pasados diversas «catástrofes» que transformaron radicalmente la Tierra. Por supuesto, semejante idea tenía implicaciones relativas a la historia de las formas vivientes. Pues si hubo «catástrofres» universales, había que admitir la existencia de varias «creaciones» destinadas a repoblar la Tierra. Cuvier logró un gran éxito entre el público cultivado gracias a la utilización de este tema con el fin de resucitar el pasado; eran las que denominó «revoluciones de la superficie del globo». (Foto Museum Hist. Nat. de París.)*



Había una generación de intervalo entre Lamarck (junto a estas líneas) y Cuvier. Los retratos de estos dos sabios que damos aquí les muestran tal como eran en el momento de su primer enfrentamiento: el joven Cuvier contra el ya viejo Lamarck. Mientras que el primero llegaría rápidamente a ser un político famoso, el segundo se contentaría con seguir siendo un modesto sabio. Fue el principal error de Lamarck, siendo el otro el de haber fallecido a una edad demasiado avanzada y sobre todo demasiado lentamente (a los 85 años, tras 13 de años de ceguera senil). Pero tuvo razón contra Cuvier, como reconocieron los sabios franceses en dos etapas de longitud desigual. La primera, la del anticatastrofismo, fue rápida y decisiva, pues se trataba de una refutación y el error de Cuvier era fácil de demostrar. La segunda, la del transformismo, fue lenta y progresiva. La prueba, en este último caso, tenía que ser fehaciente; hacían falta muchos documentos y, por tanto, mucho tiempo. No se logró una teoría satisfactoria hasta mediados de siglo con Isidore Geoffrey Saint-Hilaire. (Foto Jean-Loup Charmet.)

Según Cuvier, un mundo «anterior al nuestro» había sido destruido por una catástrofe general.

Goulven Laurent es director del Instituto de letras y de historia de las Facultades libres del Oeste (Angers). Historiador de la ciencia, ha sostenido una tesis de Estado sobre la historia de la paleontología y de la evolución en Francia durante el siglo XIX.

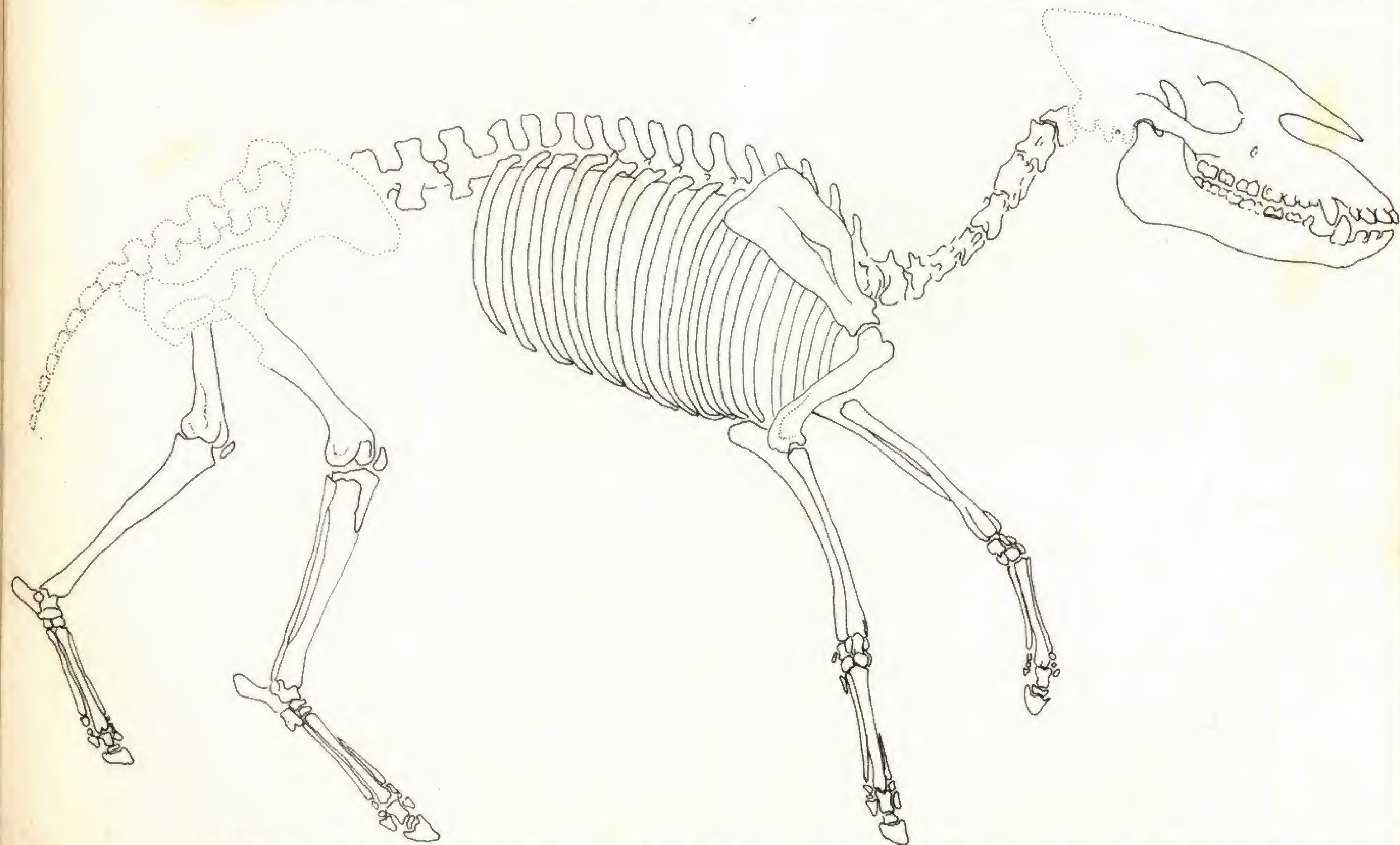
de las «catástrofes» de Cuvier. Tal es el punto que importa aclarar a fin de evitar un contrasentido demasiado corriente: el debate no surgió a propósito de la teoría transformista de Lamarck sino a propósito del *catastrofismo*. Según esta doctrina, que interesa ante todo a la geología, hubo en el pasado varias «catástrofes», varios cataclismos de gran amplitud que modificaron brutalmente la superficie del globo. El Diluvio universal del que habla la Biblia sería un ejemplo típico de «catástrofe». Al adoptar la idea de la existencia en el pasado de diversas «revoluciones» geológicas, Cuvier suscitó una discusión científica sobre la cuestión siguiente: ¿es verdad que la historia de la Tierra (y también, por tanto, la de los seres vivientes) estuvo jalonada por trastornos sucesivos?

Más tarde, cuando Lamarck propuso su propia concepción, habría otro enfrentamiento a propósito del transformismo propiamente dicho. La cuestión, otra vez, se formulará así: ¿cabe demostrar que hay *filiación* entre las especies? Aunque los problemas son indudablemente complementarios, han de ser distinguidos y se los ha de situar correctamente en la cronología. La historia, contrariamente a la que demasiado a menudo se admite, comienza con Cuvier y acaba con Lamarck y no al revés. Como vamos a ver con más detalle, la *refutación* del catastrofismo era en cierto modo una etapa preliminar para la *afirmación* de la descendencia de las especies. Analizando los hechos de esta manera será posible reducir a sus justas proporciones la pretendida «victoria» de Cuvier y apreciar mejor la aportación de Lamarck a la corriente transformista.

La fulgurante ascensión del joven Cuvier

Cuvier se había afirmado rápidamente como uno de los pensadores más influyentes para la nueva generación de zoólogos que empezaban su carrera durante la Revolución. Hay un gran constraste entre su carrera y la de Lamarck, el sabio ya mayor del que iba a convertirse en adversario implacable. Podría haber sido su hijo (les separaban 25 años). Cuvier llegó a París en 1795 con el empuje de un joven conquistador. Reconocido por los demás naturalistas (Lamarck, en particular, y Geoffrey Saint-Hilaire) por su superioridad intelectual y científica, ascendió en pocos años hasta lo más alto de la sociedad parisiense. Llegada a la capital a la edad de 26 años, cinco años después, en 1800, era ya profesor suplente del Muséum, miembro del Institut y profesor del Collège de France; además, había publicado trabajos en las principales revistas científicas de la capital. Se le consideraba como el maestro de la anatomía comparada y de la paleontología de los vertebrados, disciplinas a las que dio un extraordinario impulso. Atrajo a numerosos colaboradores franceses y extranjeros y se ganó una enorme consideración por parte de los sabios. Nacido alemán, había recibido una sólida formación de administrador y de naturalista en su país de origen. En aquel tiempo, el medio científico alemán tenía un nivel muy elevado; Cuvier aprovechó su conocimiento de la lengua germánica para estudiar a los principales sabios de aquel país y difundir sus trabajos. En particular, había leído a Johann Friedrich Blumenbach (1752-1840), el verdadero creador de la anatomía comparada y de la paleontología de los vertebrados.

Cuvier ha quedado hasta nuestros días como el símbolo del antitransfor-



Unos de los primeros «cuadrúpedos» resucitados por Cuvier fue el Palaeotherium, *animal totalmente desconocido hasta entonces. Para Cuvier, los animales del pasado no eran simples especies extintas o perdidas sino unas especies destruidas. Por ello constituían a sus ojos los testigos indiscutibles de las catástrofes (universales o parciales) que en otro tiempo devastaron la Tierra. (Esqueleto del* Palaeotherium minus. *Foto Museum de Hist. Nat. París.)*

mismo y el defensor obstinado del fijismo (teoría según la cual ninguna especie puede transformarse en otra). Aseguraba que los seres vivos eran inmutables. Pero iba más allá de esta doctrina, que en Cuvier era tan sólo una consecuencia de su sistema de pensamiento. En 1800, éste no era todavía su principal problema, ya que Cuvier era ante todo y sobre todo *catastrofista*. En un medio profundamente protestante como era el suyo (en este aspecto comparable al de Inglaterra por su fidelidad a la letra de la Biblia), había asimilado las proclamaciones catastrofistas de su maestro Blumenbach basadas en referencias religiosas y bíblicas. En París, Cuvier se dio cuenta del papel que podía desempeñar en un campo en el que nadie podía rivalizar con él en Francia: la prueba paleontológica del Diluvis y de las catástrofes universales. Explotó a fondo el tema con el empuje juvenil y la energía intelectual que constituyeron los principales factores de su ascensión fulgurante.

Enseguida anunció claramente sus intenciones. Los estudios de fósiles que había iniciado tenían un solo objetivo: el demostrar que hubo varias catástrofes sucesivas y que todos los seres de las «creaciones precedentes» habían quedado «*destruidos*». Para ello había que demostrar que todos eran completamente diferentes de los actuales. Y lo eran, claro, pues ya no se encontraban ejemplares similares: habían desaparecido de la superficie de la Tierra. Pero una desaparición *total* sólo puede explicarse mediante una destrucción violenta de idéntica magnitud. Y con ello, según Cuvier, queda demostrado el catastrofismo. Tras haber evocado las destrucciones de las especies antiguas de elefantes, Cuvier asegura que «todos estos hechos, análogos entre sí y a los que no se ha podido oponer ningún otro bien establecido, prueban a mi juicio la existencia de un mundo anterior al nuestro destruido por una catástrofe cualquiera».[1]

Al principio, Cuvier trató sobre todo de demostrar que el mundo «anterior al nuestro» había sido destruido, lo que confirmaba la realidad del Diluvio bíblico. Pero el hecho de emplear las expresiones «última catástrofe» y «última inundación universal» para designar a este último demuestra su creencia en otras de igual magnitud. No obstante, no pretendió dar su número exacto (a diferencia de Alcide d'Orbigny, quien más tarde afirmaría que en el pasado hubo veintisiete catástrofes universales).

Cuvier pensó incluso en la posibilidad futura de tales acontecimientos, ya que consideraba que acaso los seres actuales, los que ocupan el lugar de los que fueron destruidos por la catástrofe precedente, «*fueran también un día destruidos y sustituidos por otros*». ¿Es aceptable esta teoría? Tal fue, precisamente, el punto que dio lugar al primer enfrentamiento con Lamarck.



Cuvier empezó interesándose por los invertebrados, pero los abandonó cuando se dio cuenta de que no le permitían establecer la realidad de las «catástrofes» que habrían tenido lugar en el pasado. Por contra, Lamarck se sirvió de ellos para demostrar que el catastrofismo constituía un error; el que hubiera entre ellos animales actuales idénticos o «análogos» a los fósiles demostraba que la vida no había sido destruida a intervalos más o menos regulares por diluvios u otros cataclismos universales. Los ceritidos, en particular, presentan para él un gran interés «no sólo para el progreso de la ciencia natural, sino también para el de la teoría de las mutaciones que experimentó la superficie de nuestro globo». A propósito de la especie fósil **Cerithium petricolum** ***(n.º 183 a 186 de la lámina), Lamarck observa que es más antigua que las demás; esta especie señalaba así una etapa en la historia de la vida, una historia que se desarrolló en la continuidad (anticatastrofismo) y el cambio (transformismo). (Foto Colección Lamarck, Museum de Ginebra.)***

Nacido en 1744, Lamarck tenía ya 49 años cuando empezó su nueva carrera en el Muséum en 1793. Hasta entonces se había dado a conocer por sus trabajos botánicos; a partir de aquel momento, pasó a dedicarse a la enseñanza de los «insectos» y los «gusanos». En 1800, emergía apenas del trabajo colosal que le había supuesto la familiarización con esta parte inmensa de la zoología que le había sido confiada. La división de los *invertebrados* (fue él el creador de este término, que debía imponerse rápidamente) representa, en efecto, las nueve décimas partes del mundo animal. Aunque sus conocimientos empezaban a ser importantes, tan sólo sus colegas y sus numerosos auditores sabían que en po-

(1) *Magasin encyclopédique*, 3, 444, 1796.
(2) Véase nuestro artículo a «Cuvier et le catastrophisme». *Actes du symposium paléontologique Georges Cuvier*, 1983, pp. 337-346.

Mediante el estudio de los invertebrados fósiles, Lamarck arruinó la doctrina catastrofista.

cos años se había convertido en el maestro de la zoología y la paleontología de los invertebrados, reputación que mantuvo durante buena parte del siglo XIX. Gracias a sus notables trabajos de clasificación, esta rama del saber se hizo accesible a las investigaciones de los naturalistas: hasta entonces, se habían perdido en el «caos» y el «desecho» que, según Cuvier, constituían estos animales «inferiores» que el propio Linneo no había conseguido dominar.

Sobre la base de estos estudios impresionantes pudo proponer Lamarck a sus estudiantes algunas reflexiones generales sobre el mundo animal, reflexiones que le parecían importantes porque abrían nuevas perspectivas en la comprensión de la historia de la vida. La «gran familia de los animales sin vértebras», aseguraba, es la más apta para proporcionar a la ciencia el apoyo más sólido para avanzar en el conocimiento. En efecto, «nos conducen insensiblemente al término inconcebible de la animalización, es decir, allí donde se sitúan los animales más imperfectos, los más simplemente organizados, en una palabra, los que apenas están dotados de animalidad, aquellos por los que probablemente empezó la naturaleza cuando, con la ayuda de mucho tiempo y de circunstancias favorables, formó todos los demás».

La infinita variedad que muestra la naturaleza se explica por dos factores simples: el tiempo y las circunstancias. Son «los dos principales medios a los que recurre la naturaleza para dar existencia a todas sus producciones». Pero el tiempo «carece de límites» y las circunstancias «son en cierto modo inagotables».

Cabe así reconstruir la «marcha» que la naturaleza siguió «en la formación de todos los seres vivos». Empezó con «la organización animal más simple y luego se elevó gradualmente hacia la más compuesta, como desde la mónada que, por así decir, no es más que un punto animado, hasta los animales con mamas y, entre ellos, el hombre». Todo el transformismo materialista de Lamarck queda expuesto en esta cita: en lo sucesivo, no le quedaría más que precisarla, ilustrándola mediante innumerables ejemplos extraídos de la clasificación biológica y sobre todo de la paleontología de los invertebrados, que le imprimirían definitivamente su carácter histórico. El valor que tenían los *fósiles* para su filosofía no le había pasado inadvertido (fue por lo demás Lamarck quien fijó el sentido de la palabra tal como la entendemos hoy). Aunque su obra paleontológica es menos conocida y famosa que la de Cuvier, los naturalistas y los historiadores le han considerado de igual nivel (Lamarck identificó *más de mil* especies fósiles de invertebrados). Hay que reconocerlo, por tanto, como el verdadero fundador de la paleontología transformista.

La controversia sobre el catastrofismo

Ambas doctrinas (el *catastrofismo* y el

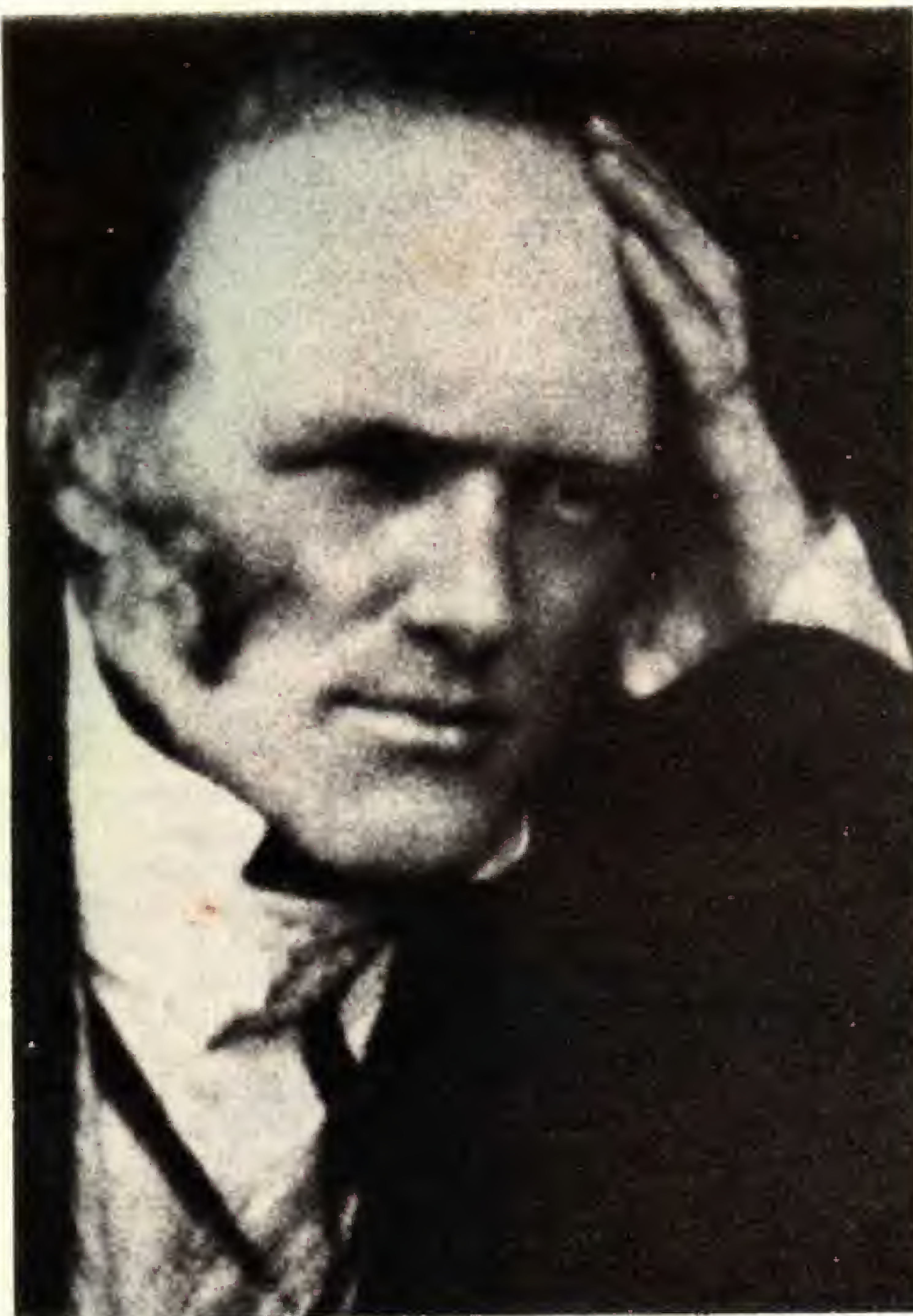


El catastrofismo de Cuvier (que afirmaba la existencia en el pasado de varios cataclismos universales) encontró en las gentes un terreno abonado. A principios del siglo XIX, en efecto, muchos cristianos aceptaban literalmente el relato del Génesis y estaban convencidos de que en otros tiempos hubo un Diluvio universal. Gracias a Cuvier, este acontecimiento perdió su aspecto «milagroso» y adquirió un estatus científico; ello no pedía más que granjearle una audiencia atenta. Pero esta manera de conciliar ciencia y religión incomodaba a los medios ilustrados ¡Qué se deje trabajar tranquilamente a los sabios! pedía el geólogo de Férussac. Mientras tanto, la gente sencilla pedía divertirse asustándose, como se ve en esta obra de un dibujante intrépido; todavía se divertirían y edificarían con este tema durante largo tiempo... (El Diluvio universal, según A. Kricher. Foto Jean-Loup Charmet.)

transformismo) son expuestas aproximadamente hacia la misma época, en la transición entre los dos siglos que precedieron al nuestro, cerca de 1800. Hay que tener en cuenta que no se oponían frontalmente. Pero tampoco podían ignorarse, y Cuvier, por lo demás, aludió a la doctrina de Lamarck. En cambio, Lamarck no suscitó el problema del catastrofismo en las primeras exposiciones de sus propias ideas. Ciertamente, conocía la posición de Cuvier, que se había convertido en colega suyo en el Muséum, pero le pareció inconveniente subrayar las diferencias entre ambos e iniciar la polémica.

La ocasión de un enfrentamiento directo, sin embargo, pronto le fue brindada. Entre 1796 y 1799, Cuvier no había hecho más que trabajos limitados y puntuales. Por supuesto, no podía contentarse con ellos. En 1800, ante sus colegas del Institut, lanzó una llamada solemne a todos los naturalistas del mundo, pidiéndoles que le hicieran llegar los restos de fósiles de que pudieran disponer; le ayudarían así a lograr una base mucho más amplia, por no decir definitiva, para sus conclusiones procatastrofistas. «La cuestión principal que resolver», según él, consistía en «saber hasta qué punto llegó la catástrofe que precedió la formación de nuestros continentes actuales». A fin de resolverla, había que investigar «si las especies que había entonces habían sido completamente destruidas, sólo modificadas en su forma o si, simplemente, habían sido transportadas de un clima a otro».[3] Para él, no había la menor duda de que la respuesta que quedaría confirmada sería la primera. Con su famosa frase «El hilo de las operaciones ha quedado roto; el rumbo de la naturaleza se ha modificado», Cuvier se reveló al mundo científico internacional. A partir de entonces sería conocido no sólo como el fundador de la paleontología de los vertebrados sino también como el principal ideólogo de los catastrofistas y, por consiguiente, de los fijistas. Un mundo aniquilado, en efecto no deja descendientes. Es preciso que nuevas especies reaparezcan a partir de la nada, unas especies que habrán de ser inmutables, por lo menos hasta el próximo cataclismo y el próximo comienzo.

Esta toma de posición solemne e internacional de Cuvier fue imprimida en 1801 por el Instituto. Aquel mismo año, Lamarck acababa de ordenar el inmenso caos de los Invertebrados y publicaba el *Système des animaux sans vertèbres*. A la vez, encabezó su obra con reflexiones sobre el transformismo inspiradas en su puesta en orden y estudio. Probablemente no había previsto nada más. Pero estando ya su libro terminado y habiéndose enterado de la llamada que acaba de lanzar Cuvier, decidió añadir un «apéndice sobre los fósiles», que es una respuesta a Cuvier y presenta en pocas páginas el argumento que



El testimonio del inglés Charles Lyell (1797-1875) es bastante interesante para el historiador deseoso de apreciar la importancia de las contribuciones francesas a la historia natural de principios del siglo XIX. Este científico eminente, considerado justamente como el fundador de la geología moderna, fue lo bastante influido por Lamarck como para tener por él una gran estima y adoptar su método de las especies análogas; por prudencia, sin embargo, se abstuvo de reconocerlo públicamente al instante. Lo hizo sólo cuando, cediendo a la insistencia de Darwin, se hizo transformista al sentirse lamarckiano. Para él, la teoría de Darwin no era sino una mejora de la de Lamarck: a su juicio, el naturalista francés fue el primero en «introducir el elemento tiempo en la definición de la especie». Por lo demás, Lyell es conocido por su «uniformitarismo», que consiste en afirmar que las «causas» que actuaron en el pasado son semejantes a las que todavía hoy actúan en la superficie del globo. (Foto T. d. r.)

iba a suponer el golpe decisivo para la doctrina catastrofista. «Los primeros resultados del estudio de los fósiles, escriben en este pasaje, han hecho que algunos naturalistas consideren muy fundada la preposición siguiente: todos los fósiles pertenecen a restos de animales y de vegetales cuyos análogos vivientes ya no existen en la naturaleza». Y de ello han deducido, añadió pensando ante todo en Cuvier, «que nuestro globo sufrió un cataclismo universal, una catástrofe general de la cual resultó que una multitud de especies animales o vegetales quedaron definitivamente perdidas o destruidas».[4]

El método de las «especies análogas»

Pero Lamarck tenía ya suficientes conocimientos sobre las conchas fósiles para poder tomar una posición sólida contra la doctrina de los cataclismos universales. Había descubierto un cierto número de especies fósiles muy semejantes («análogas») a especies vivientes conocidas. Y dicho número, aunque reducido, «basta para obligar a suprimir la universalidad» de las catástrofes proclamada por Cuvier y sus partidarios. Una simple observación, en efecto, permite refutar la doctrina del catastrofismo. En el caso de los vertebrados fósiles, al que se había limitado Cuvier especializándose en él, es raro encontrar especies semejantes a las que viven todavía hoy; en el de los invertebrados fósiles, en cambio, la situación no es la misma: el pasado proporciona un cierto número de especies sepultadas en las capas geológicas que no cabe razonablemente distinguir de las que todavía viven en nuestros días. Son las que Lamarck denomina *especies análogas* con el fin de resaltar las semejanzas existentes entre ellas, pese a pertenecer a períodos geológicos distintos. El papel que desempeña el concepto de «especies análogas» en la obra de Lamarck no ha sido lo bastante destacado, y es capital tanto desde el punto de vista histórico como del epistemológico. Dicho instrumento de investigación, en efecto, presenta la ventaja de ser un concepto simple y de fácil manejo que todavía hoy resulta imprescindible en paleontología evolucionista. Se dice que dos especies son *análogas* cuando se parecen hasta tal punto que cabe preguntarse si son idénticas. Es un caso extremadamente frecuente en la naturaleza. Cuando se trata de dos especies contemporáneas, la utilización que cabe hacer de él es bastante limitada: se trata entonces simplemente de variedades de una misma especie. Pero al introducir el concepto en paleontología y utilizarlo para la demostración de su doctrina, Lamarck estableció su verdadero valor. Esto es lo que explica su éxito, en manos de Lamarck primero y luego en

(3) *Journal de physique*, 52, 256, 1801.
(4) *Système des animaux sans vertèbres* 1801, pp. 410-411.

Una tarea más difícil: demostrar la continuidad de las formas vivientes a través del tiempo.

las de los que le siguieron en su demostración y sus convicciones.

Ante todo, el que se pueda verificar la existencia de una serie sucesiva de *especies análogas* a través de los períodos geológicos significa que no hubo ruptura en la cadena de la vida, es decir, que no hubo catástrofes universales. En efecto, si las especies idénticas o vecinas han sobrevivido en dos períodos geológicos contiguos en el tiempo *¿dónde* y *por qué* recurrir a cataclismos destructores de toda vida para explicar el pasado? Este primer hecho se impuso rápidamente a los naturalistas: no hubo destrucciones universales de seres vivos. Las numerosas *especies análogas* fósiles o actuales están ahí para dar testimonio de la continuidad de la vida en la Tierra.

El segundo resultado de esta misma utilización de los fósiles *análogos* a seres actuales estriba en que es posible interpretar estos parecidos como signos de una descendencia, de una filiación. Y la primera utilización de tales hechos por Lamarck está dirigida contra el catastrofismo proclamado por Cuvier. En efecto, si es verdad que existen *especies análogas,* entonces:

1) No hay razón para separar las especies antiguas de las actuales que presentan los mismos caracteres anatómicos.

2) Es pues una sola y única especie la que se encuentra en dos momentos distintos.

3) Por tanto, dicha especie no fue destruida.

En sus «Mémoires sur les fossiles des environs de Paris», publicadas de 1802 a 1806 en los *Annales du Muséum d'histoire naturelle,* y sobre todo en los siete volúmenes de su monumental *Histoire naturelle des animaux sans vertèbres,* de 1815 a 1822, Lamarck describió varias decenas de especies de esta clase. Demostró así claramente que no pudieron producirse catástrofes destructoras de toda vida en la Tierra, ya que numerosas especies de invertebrados no habían visto su existencia trastornada. Lamarck, reconocido experto en las determinaciones zoológicas y paleontológicas y sólido en su argumentación, también es tajante en su conclusión: hay que rechazar la «universalidad» de las catástrofes y afirmar la continuidad de la vida en la Tierra a través de los tiempos.

Así pues, el esperado debate sobre el *transformismo* fue desviado desde el principio hacia un debate adyacente relativo al *catastrofismo,* secundario respecto del transformismo pero necesariamente unido a él. Contra lo que se ha creído durante mucho tiempo, la iniciativa no partió de Cuvier, quien según esa opinión habría sido el primero en atacar, oponiéndose al transformismo de Lamarck. Fue por el contrario Lamarck quien inició públicamente las hostilidades tomando como blanco la doctrina de Cuvier, es decir, el *catastrofismo.* Al decidir atacar a Cuvier en este terreno, Lamarck se mostró hábil: era necesario empezar por ahí, y además era fácil. Este prolegómeno se imponía, ya que la doctrina de Cuvier rompía el hilo de la *continuidad* sobre la que Lamarck había edificado su sistema. Según la teoría transformista, hay filiación entre las especies, que derivan unas de otras (y Darwin describiría su teoría como una teoría de «la descendencia con modificación»). Si se admite que hubo catástrofes universales periódicas que aniquilaron toda la fauna y toda la flora, toda explicación de este tipo se vuelve imposible: los cadáveres son indefinidamente estériles. La refutación del catastrofismo, por lo demás, era fácil: pues el argumento de las *especies análogas* era de lo más simple y obvio, como los acontecimientos subsiguientes vinieron a demostrar.

Pero Lamarck no había sido el único en captar el defecto de la argumentación de Cuvier. Éste había dirigido también su llamada a un antiguo condiscípulo de la Academia Carolina de Stuttgart, Karl Friedriech von Kielmeyer (1765-1844). Este naturalista-filósofo ya famoso le comunicó a vueltas de correo las reservas que le inspiraban su método y sus conclusiones. Las diferencias constatables entre especies sucesivas podían interpretarse también, hacía observar von Kielmeyer a Cuvier, por cambios lentos del medio exterior; sobre todo, no había que limitar las observaciones a las especies de vertebrados, como hacía demasiado fácilmente el joven paleontólogo. Había también que observar las plantas y las conchas, y las conclusiones a las que se llegaba entonces eran ciertamente distintas. Pero esto era justamente lo que hacía Lamarck, con la maestría que le era propia, desde que se convirtiera en la autoridad de referencia en la clasificación de los invertebrados.

Pero el argumento no desanimó a Cuvier. Recibió de sus correspondientes, y descubrió por sí mismo, gran número de fósiles de vertebrados que estudió desde la perspectiva que había adoptado. Sin arrepentimiento aparente, llegó a componer incluso un «discurso preliminar» a la publicación de sus resultados en las *Recherches sur les ossements fossiles de quadrupèdes,* donde exponía las mismas ideas catastrofistas. Este texto se haría famoso con el título de *Discours sur las révolutions de la surface su globe* y tendría un gran éxito; expresaba unas ideas que confortaban a los partidarios de la Biblia, sobre todo en los países, como Inglaterra, donde se hacía una lectura asidua y literal de dicho libro. No hay que olvidar, además, hasta qué punto estas afirmaciones entraban en resonancia con las concepciones románticas de aquel tiempo, las de unos lectores dispuestos a dejarse impresionar más fácilmente por una doctrina de «truenos y relámpagos» que por la racionalidad de un anticatastrofismo romo. Como se aprecia incluso en nuestros días, está en la naturaleza misma del catastrofismo el hacer más ruido que su contrario...

El rápido declive del catastrofismo

Pero el verdadero trabajo de los zoólogos, por la fuerza de las cosas, se hizo en un terreno y en una dirección que no podían coincidir con los de Cuvier. En efecto, el tema de los «cuadrúpedos» (es decir de los vertebrados) que había reservado para sí mismo era relativamente exiguo: sólo la décima parte del mundo animal. Había además una circunstancia agravante: Cuvier lo había convertido en una especie de coto cerrado; el único que se atrevía a entrar en él sin jurar fidelidad a Cuvier, Henri Ducrotay de Blainville (1777-1850), ingresaría también en el bando de los invertebristas al sostener que Cuvier estaba en un error en lo que se refería a las *especies análogas.* Por ello, la verdadera refutación de su teoría catastrofista vendría del campo inmenso cuyas puertas había abierto Lamarck con su clasificación de los invertebrados, clasificación que pronto pasó a ser unánimemente considerada como la única «científica». En el caso de los invertebrados, de los que se sabe que a menudo están menos sujetos a variaciones que los animales superiores, los casos de similitudes eran demasiado numerosos para que fuera sostenible o razonable convertirlos en excepciones explicables en términos de catástrofes y de discontinuidades (creaciones sucesivas).

De ahí que, desde entonces, la mayoría de invertebristas razonan con sus especies fósiles del mismo modo que Lamarck. Alcide d'Orbigny (1802-1857), que adoptó una postura radicalmente catastrofista, constituye la excepción que confirma la regla, y pronto quedó aislado. Jean-Claude Delaméthérie (1743-1817), por ejemplo, afirmaba en 1811 su repugnancia a admitir «esos trasportes sucesivos de las aguas superficiales de todos los mares y su consiguiente regreso». Otra prueba de la inexistencia de catástrofe universal consiste para él en que «hay fósiles absolutamente semejantes a los seres organizados vivientes». André de Férussac (1786-1836), especialista en moluscos, observa que estos animales tienen la ventaja de presentar «una serie no interrumpida de términos comparativos, desde la aparición de la vida hasta nuestros días», que muchos de sus fósiles presentan «análogos irrecusables» que perduran hoy. Y también él llega a la conclusión siguiente: «Los cambios que han experimentado la vida han sido graduales» y «la vida no ha sido bruscamente renovada». Es, por supuesto, lo mismo que enseñaba Constantin Prévost (1787-1856), el líder bien conocido

de los anticatastrofistas. Su colega mediterráneo Marcel de Serres (1780-1862) llegó incluso a invertir la famosa fórmula de Cuvier: el curso de la naturaleza no ha quedado «*en absoluto interrumpido*», proclama este autor. «*el hilo de las operaciones no se ha roto*». Paul Tournal (1805-1872), su amigo y compatriota, se expresa al respecto con igual seguridad.

Hay que tener en cuenta que estas tomas de posición van de 1820 a 1830: preceden pues a la muerte de Cuvier (1832). Ponen de manifiesto que muchos naturalistas abandonaron bastante pronto la creencia en las catástrofes universales del Maestro de zoología. Y es realmente a Cuvier a quien sus contemporáneos atribuyen esta doctrina. Tenemos al respecto, por ejemplo, el testimonio de André de Férussac, evocado anteriormente, o también el del gran geólogo Ami Boué (1794-1881). Oponiéndose radicalmente a la hipótesis catastrofista, este último subraya que Cuvier «admite, contrariamente al orden natural y a los hechos, la existencia de cataclismos universales en distintas épocas anteriores al diluvio de Noé».

Incluso sabios menos absolutos en sus juicios se niegan a seguir a Cuvier en sus afirmaciones catastrofistas. Bien es verdad que habían pasado unos años, desde el fallecimiento de éste, cuando tomaron posición. Así, Édouard de Verneuil (1805-1873) sostuvo en 1839 que entre el silúrico y el carbonífero, períodos geológicos bien diferenciados, no hubo «cambio absoluto de todas las especies». Asimismo, Adelphe d'Archiac (1802-1868) piensa que no es necesario creer «que tal o cual levantamiento que caracteriza una época y ocasiona una solución de continuidad en un punto haya producido resultados semejantes en otro». Y añade: «así se ha dicho, pero ¿se ha demostrado lo bastante?». La toma de posición más significativa, sin embargo, es la del geólogo que ha sido considerado como el partidario rezagado del catastrofismo de Cuvier. Elie de Beaumont, (1798-1874) en efecto, acaba uniéndose a quienes niegan las destrucciones universales: «Cuando se conozcan completamente los fósiles de todos los terrenos, asegura, del terreno silúrico hasta el pliocénico, formarán quizá, en su vasto conjunto, una serie tan continua como lo es hoy la serie parcial de los terrenos jurásicos y cretácicos».[5] La mayoría de los autores que acabo de citar son sin duda menos conocidos que Cuvier. Pero son los representantes de la gran masa de investigadores, los que componen el «medio» científico. Pero, si se les pregunta, el «sondeo» no ofrece la menor duda: no creen en el catastrofismo de Cuvier. Esta doctrina no consiguió sobrevivir a su autor porque discípulos eminentes como los que acabamos de nombrar renunciaron a ella voluntariamente.

Lyell, el gran geólogo, fue también «lamarckiano».

Aunque a menudo se afirma lo contrario, sin pruebas, podemos afirmar pues con toda tranquilidad que no fue Cuvier quien triunfó sino Lamarck. Es cierto que los trabajos filosóficos de Cuvier fueron muy leídos en la sobremesa, para procurarse algunos deliciosos escalofríos. Pero este éxito no ha de hacer olvidar que Lamarck ejerció una amplia y profunda influencia en los medio científicos. Son las obras de éste las que los naturalistas llevaban consigo al terreno para identificar la mayoría de fósiles de animales hallados en las capas geológicas.

La mala apreciación del papel desempeñado por Lamarck quizá se deba paradójicamente, al éxito de su *Philosophie zoologique* (1809). Como es sabido, esta obra presenta una exposición general del transformismo tal como lo concebía Lamarck. Allí se encuentra, por ejemplo, el famoso ejemplo de la jirafa que va alargando su cuello para alcanzar a las ramas más altas y transmite esta modificación a su descendencia (herencia de los caracteres adquiridos). Pero esta obra de síntesis, muy «filosófica», probablemente no es la que más influyó en los sabios contemporáneos. Concretamente, tienen mucha importancia los tratados más técnicos de Lamarck; en ellos, este autor presentaba sus ideas transformistas con ocasión de desarrollos relativos a la paleontología y la clasificación. Por no haber apreciado correctamente este hecho, numerosos historiadores se han visto llevados a subestimar la aportación científica del gran invertebrista. Se han limitado a decir que Lamarck había sido olvidado y que su influencia había sido escasa. Pero tal cosa es un error manifiesto, como ya he demostrado basándome en multitud de trabajos realizados en aquel tiempo por naturalistas franceses.[6]



Isidore Geoffroy Saint-Hilaire (1805-1861) desempeñó un papel insustituible y decisivo en la victoria del transformismo a mediados del siglo XIX, por sus escritos y sobre todo por su enseñanza en el Muséum d'Histoire Naturelle y en la Facultad de Ciencias de París. Fue él quien formó a los transformistas de la generación siguiente. También fue él quien dio a sus contemporáneos unas ideas claras en este debate. Algunos imaginaban que, según la teoría transformista, una especie cualquiera podía dar lugar a cualquier otra; otras difundían interesadamente esta idea con el fin de combatir y descalificar el transformismo. Isidore Geoffroy Saint-Hilaire puso los puntos sobre las íes: una forma animal sólo puede transformarse en otra forma vecina. Así pues, las faunas se transforman gradualmente. Además, este gran sabio hizo admitir que el fijismo de Cuvier era tan sólo una hipótesis y que, lejos de ser superior a la de los transformistas, era menos satisfactoria. Para asegurar el triunfo del transformismo sólo faltaban confirmaciones decisivas. Pero éstas se harían esperar durante largo tiempo... y es posible que todavía no se disponga de ellas... Esta exigencia y este rigor en el razonamiento inmunizaron a la posteridad científica francesa contra los «dogmas» (cualquiera que fuera el nombre que se les diera después de Darwin); esta inmunización se ha mantenido casi íntegra hasta nuestros días. (Foto Museum Hist. Nat. París.)

El triunfo de Lamarck sobre Cuvier al afirmar aquél su anticatastrofismo, es decir, la continuidad de la vida a lo largo del tiempo, queda confirmado por un testimonio de alcance internacional. El gran geólogo inglés Lyell (1797-1875), en efecto, se convirtió en uno de los más grandes discípulos de Lamarck bajo el manto de Darwin. En 1830 publicó su libro capital, *Principles of geology*, que establece la derrota del catastrofismo a nivel mundial (en Francia, como hemos visto, la tarea ya estaba hecha). En 1827 había constatado que sus amigos franceses habían tomado el partido correcto. Es fácil de comprender, pues los paleontólogos continentales eran superiores a los de la gran isla y ello fue debido a los trabajos de Lamarck y a su método de las *especies análogas*, que los primeros habían rápidamente adoptado, mientras que los segundos se habían resistido a él tanto como habían podido.

La segunda fase: probar la descendencia de los seres

A partir del reconocimiento de la continuidad era posible elaborar la teoría de la *descendencia de los seres vivientes*. Llegamos así a la segunda cuestión que señalábamos al principio de este artículo, la del transformismo. Pero ahí la confrontación iba a ser mucho más laboriosa. La eliminación del catastrofismo había desbrozado el terreno. Pero ahora había que establecer la filtración entre las diversas poblaciones sucesivas. Puede que el triunfo final de la teoría transformista nos parezca lógico. En efecto, si la vida se había dado con continuidad en la Tierra y cabía señalar numerosas semejanzas entre es-

(5) *Bulletin de la société géologique de France*, 2.ª serie, 4, 563, 1846-1847.
(6) Véase nuestra tesis citada en «para más información». Esta historia del periodo que media entre Lamarck y Darwin no había sido realizada para el caso de Francia.

Contrariamente a una opinión corriente, Lamarck no predicó en el desierto.

pecies sucesivas que, no obstante, iban siendo cada vez más distintas de lo que habían sido, era normal pensar que las generaciones nuevas eran las descendientes de las pasadas y que las especies se habían ido transformando progresivamente. Pero en esta fase de la demostración los papeles estaban cambiados. Mientras que el debate sobre el catastrofismo le tocaba a Lamarck derribar la doctrina de Cuvier oponiéndole ciertos hechos, ahora era Cuvier quien tenía el fácil papel de contradictor. De hecho, había una clara disimetría. La refutación del catastrofismo había sido fácil y, por tanto, rápida. En lo que se refiere al transformismo, sin embargo, la discusión era mucho más delicada. Ni la demostración ni la refutación podían tener el mismo grado de simplicidad. Por lo demás, ni siquiera hoy ha concluido el debate; y es posible incluso que no concluya nunca, ya que es bastante dudoso que pueda haber una demostración definitiva de la verdad o la falsedad del transformismo.

(7) *La revue des deux mondes, 19,* 838, febrero 1859: *El origen de las especies* de Darwin no vio la luz hasta diciembre del mismo año.

El cambio de ideas al respecto sólo podía proceder de un trabajo de investigación y, sobre todo, de un cambio de mentalidad, razón principal de las «revoluciones científicas». Hace falta tiempo, una generación por lo menos, para que una doctrina pueda triunfar. Pronto aparecería Darwin y en el momento oportuno; gracias a la noción de selección natural, explicaría cómo puede llevarse a cabo la selección. Pero *El origen de las especies* es de 1859 y queda pues claramente fuera del marco del presente estudio. Esperamos haber demostrado por lo menos la importancia de la aportación de Lamarck. Contrariamente a algunas afirmaciones corrientes, cupo a este sabio un papel absolutamente positivo y ejerció una influencia real sobre los naturistas de su tiempo. Dio al estudio de las formas vivientes una orientación que debía de revelarse fecunda, y desde principios del siglo XIX fijó un método eficaz basado en el estudio de las *especies análogas,* vivientes y fósiles.

Su doctrina, que se expresó mediante textos variados, se introdujo progresivamene entre los sabios franceses hasta adquirir derecho de ciudadanía hacia 1850 con Isidore Geoffrey Saint-Hilaire (1805-1861) y los numerosos discípulos que éste formó. Seguramente la mejor ilustración de este éxito es la toma de posesión de Albert Gaudry (1827-1908), que iba a convertirse en el maestro de los paleontólogos evolucionistas franceses de fines del siglo XIX y principios del XX. Cuñada y ayudante de laboratorio de Alcide d'Orbigny, que fue el líder de los fijistas tras la muerte de Cuvier, reveló sus convicciones transformistas (con discreción, claro está, ¡pero es comprensible!) en una memoria dedicada al gran paleontólogo, del que era paciente y había sido colaborador.[7] Era en 1859, ¡pocos meses antes de que apareciera *El origen de las especies* de Darwin!

Para más información:

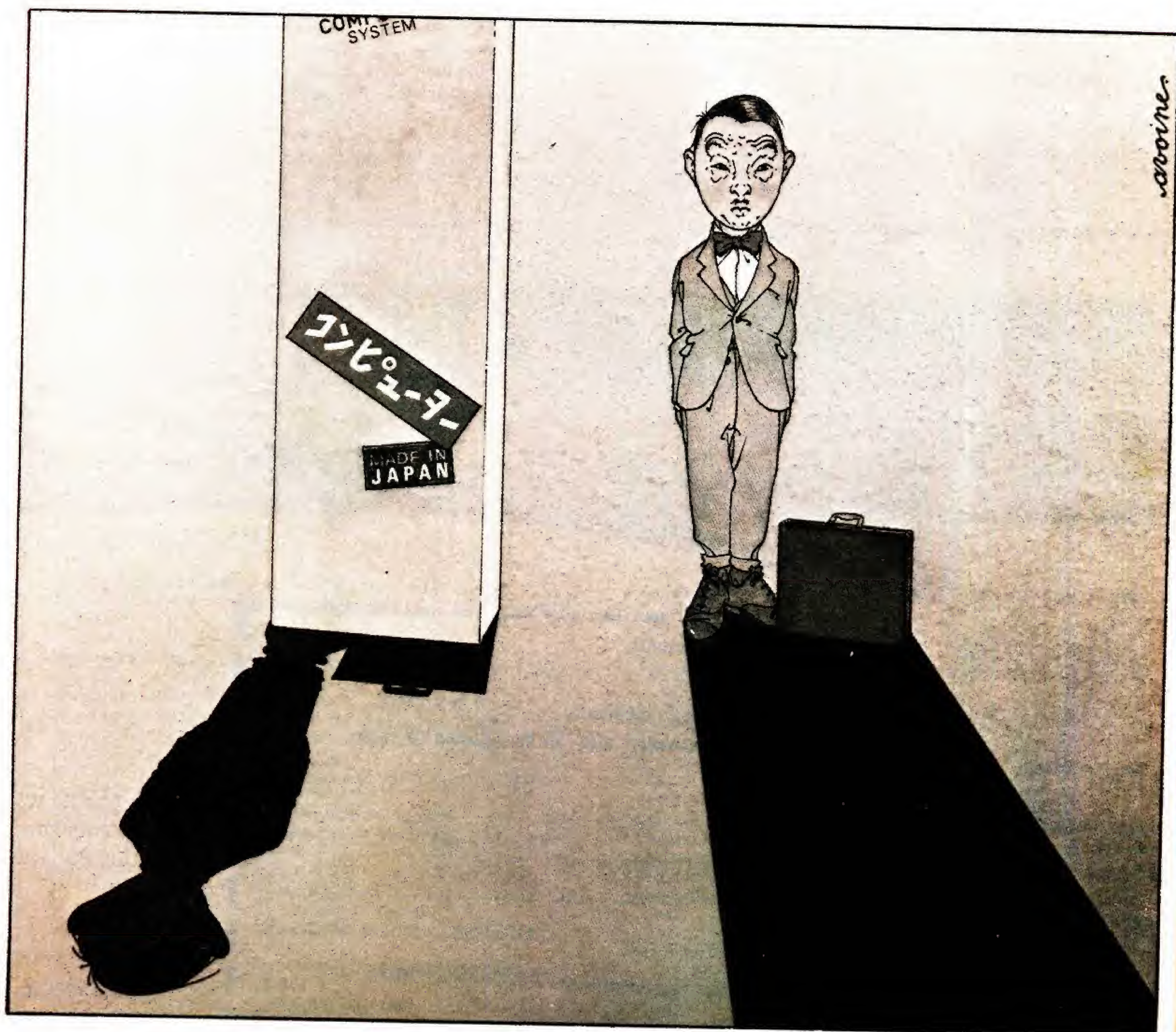
- Richard W. Burckhardt Jr. *The spirit of system: Lamarck and evolutianary biology,* Harvard University Press, 1977.
- H. Holder, «Die Entwicklung der Paläontologie im 19 Jahrhundert». *Studien zur Medizingeschichte...* Stuttgart, 1976.
- A.N. Studitskii (en ruso): «La herencia científica de Lamarck». *Les progrés de la biologie contemporaine, 39,* 3, 1955.
- Goulven Laurent, *Paléontologie et évolution en France de Lamarck à Darwin.* Actualmente accesible en manuscrito mecanografiado en numerosas bibliotecas: Sorbona, Museum, Universidad Católica de Angers, Laboratorios de Paleontología, Sociedad Geológica de Francia, etc.

- Para una bibliografía más completa, véase la página 228.

La Investigación y el Desarrollo en Japón ¿MITIficación o DesMITIficación?

por Emilio Muñoz

El análisis comparativo de los sistemas de organización y fomento de las actividades de investigación y desarrollo es un instrumento útil, y necesario incluso, para formalizar propuestas estructurales y funcionales dentro de los esquemas de las políticas científicas y tecnológicas de un determinado país.



Emilio Muñoz es Director General de Investigación Científica y Técnica del Ministerio de Educación y Ciencia.

En esta línea se viene trabajando desde la Dirección General de Política Científica y la Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica a lo largo de los últimos cuatro años y sus frutos aparecen recogidos en una serie de publicaciones,[1-4] así como en la memoria de la Ley de Fomento y Coordinación General de la Investigación Científica y Técnica (Ley 13/1986 de 14 de Abril).

Estos estudios se han limitado a los países occidentales, sin que se haya proyectado tal reflexión sobre el sistema japonés, aunque se hagan frecuentes referencias a él, bajo el prisma de la mitificación y con miras a su eventual imitación.

Revistas como Nature y Science vienen dedicando algunos números especiales al estudio de las condiciones en que se desarrolla el sistema de Ciencia-Tecnología en países alejados del ámbito tradicional de discusión de esos temas. En efecto, *Science* en un número del mes de Julio (*Science*, vol 233, 18 de Julio de 1986), consagra una serie de artículos a examinar la política Científica y Tecnológica del Japón.[5] Parece pertinente, al hilo de esta circunstancia, entresacar los puntos más característicos del sistema Científico-Técnico japonés y ofrecer una incursión comparativa con nuestro sistema, en pleno proceso de reforma y lanzamiento con la puesta en marcha de la Ley de Investigación.

Características Generales del Sistema Ciencia-Tecnología Japonés

En contra de lo que se cree, Japón no es un clásico en su poder de desarrollar ciencia y tecnología ni es un grande tradicional por lo que se refiere a las inversiones en Investigación y Desarrollo (I+D).

Hace tan sólo dos décadas, su esfuerzo económico era notablemente inferior que el de cualquiera de los países poderosos de la OCDE y existían serias dudas sobre la capacidad japonesa para crear conocimiento científico, a juzgar la calidad e impacto de su actividad científica, así como para impulsar nueva tecnología, medida por el número de patentes.

Hoy día, Japón gasta en I+D mucho más que todos los países occidentales con la excepción de Estados Unidos, aunque su gasto compara bien con el gigante americano, si se tienen en cuenta las proporciones de sus respectivas economías. Por otro lado el número de patentes generadas por los japoneses se ha triplicado en los últimos veinte años, mientras que se estancaba en los países occidentales. En el mismo sentido, los ingresos por tecnología han crecido desde un escaso valor de 1 millón de dólares en el principio de la década de los 60 hasta casi 570 millones de dólares en 1983.

En este período floreciente, Japón también ha mejorado su posición en el concierto científico internacional al colocarse en 5.ª posición según el número de publicaciones recogidas en las bases de datos, sólo superada por Estados Unidos, Reino Unido, U.R.S.S. y Alemania Federal, pero muy cerca de estos dos últimos países.

A pesar de esta tendencia positiva y del convencimiento del alto nivel tecnológico de sus empresas, conviene subrayar que existen dudas entre los propios ciudadanos japoneses acerca de la capacidad creativa de sus científicos y técnicos.

La política científica y tecnológica japonesa

Los responsables de la política científica y tecnológica japonesa concitan la admiración de los expertos de otros países o, incluso, de la ciudadanía, puesto que se les responsabiliza de los éxitos alcanzados. Sin negar los méritos que sin duda tienen, conviene matizar que su tarea se ha visto favorecida por una serie de características de la sociedad japonesa. Conviene mencionar entre otras.

– Participación de la industria en los gastos de I+D. Asciende hasta un 75-80 %, frente a los porcentajes cercanos al 50 % que se dan en los Estados Unidos o en los tres grandes europeos occidentales (Reino Unido, Francia y Alemania Federal).

– La política tecnológica japonesa ha tenido una constante –y poco usual– orientación hacia el interés económico. La idiosincrasia japonesa ha permitido conciliar intereses de los poderosos colectivos que, en otros países, disputan por intereses corporativos (científicos, industriales, administración con sus diferentes sectores).

– La política científica y tecnológica japonesa ejercida desde la Administración no difiere, esencialmente, de la promovida por el resto de los países. Se

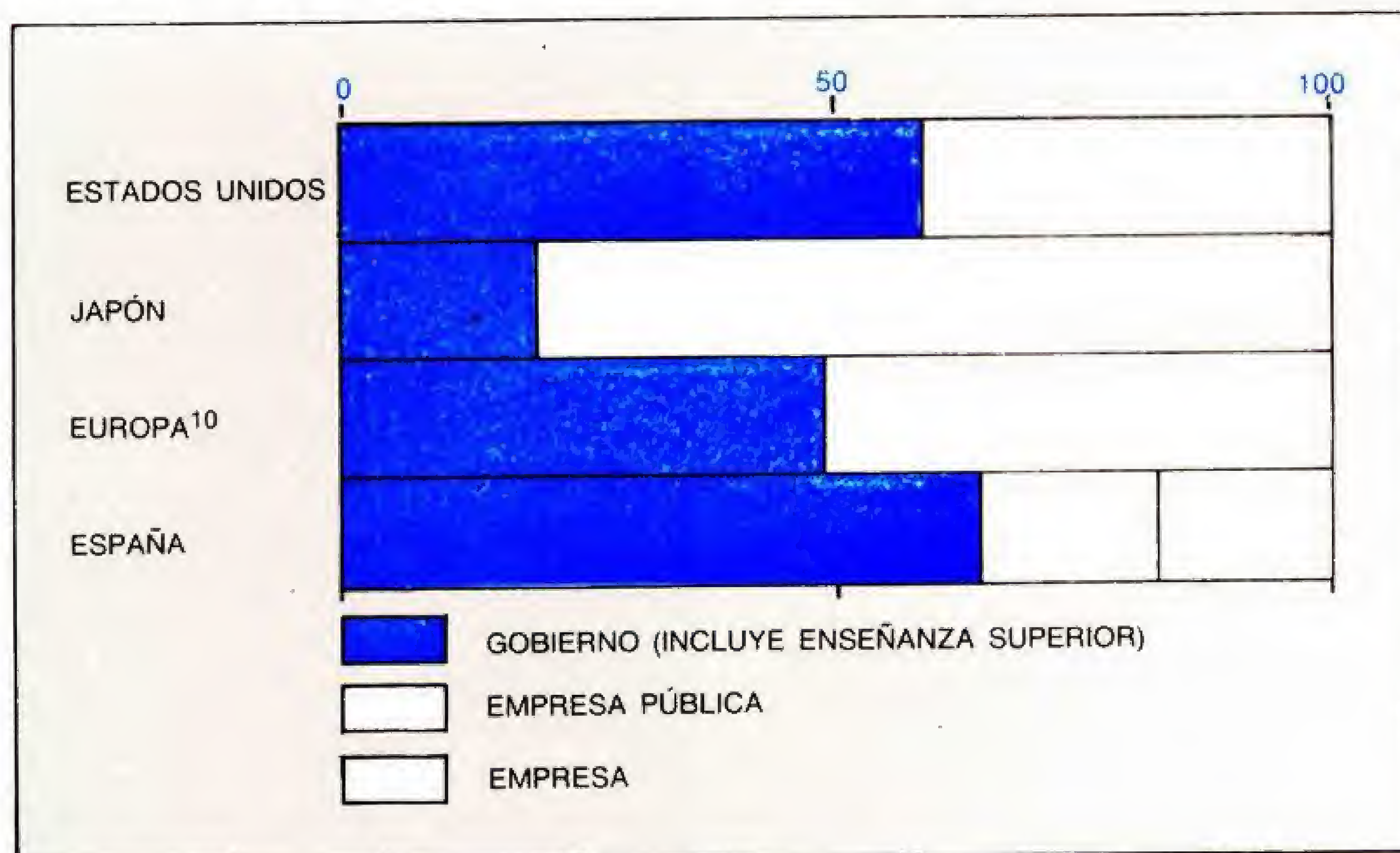


Figura 1a. Participación de los Grandes Sectores como fuente de financiación de los recursos de I+D.

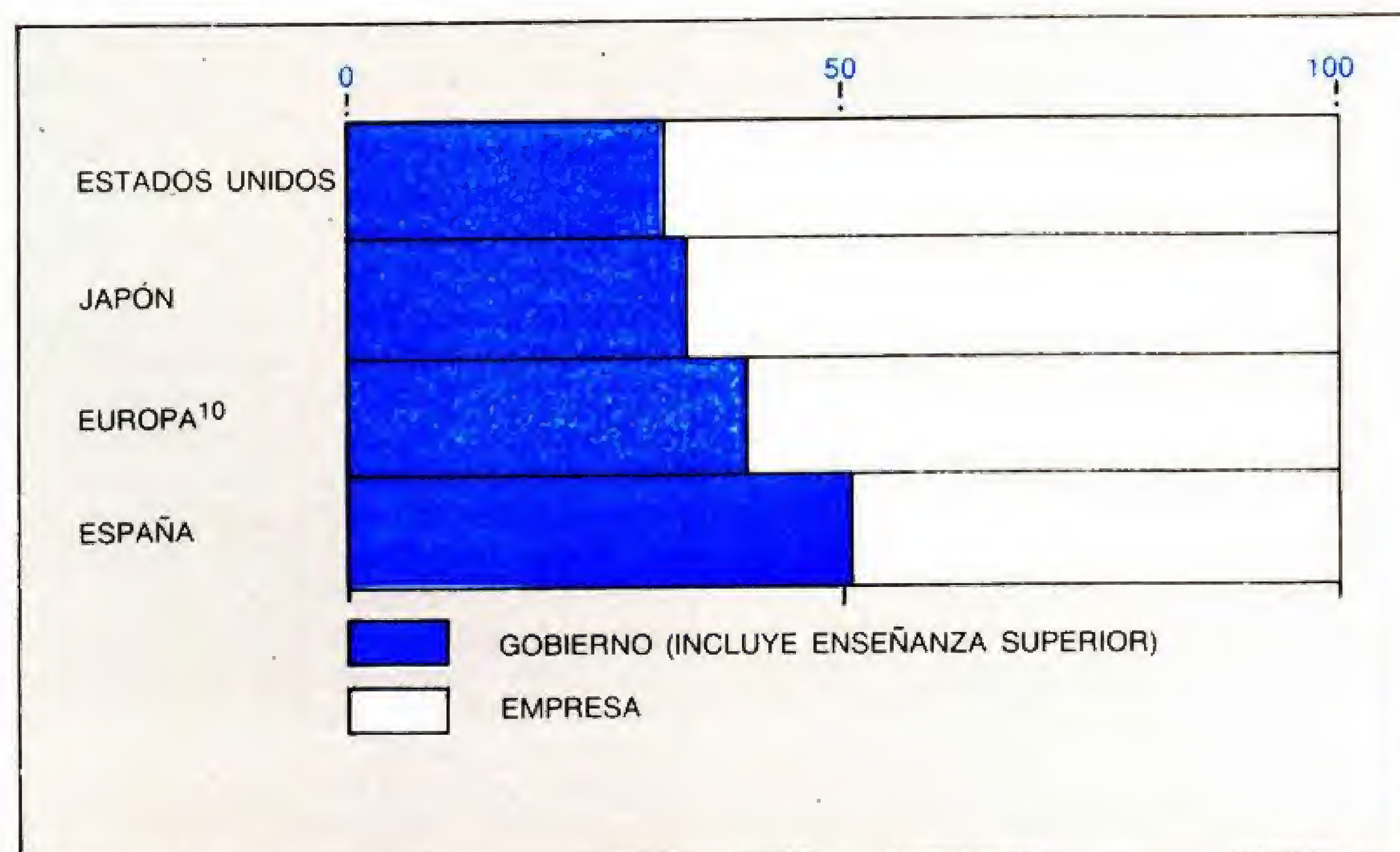


Figura 1b. Participación de los Grandes Sectores como ejecutores de I+D.

(1) E. Muñoz y F. Ornia *Ciencia y Tecnología: Una oportunidad para España*. Ministerio de Educación y Ciencia en colaboración con Aguilar S.A. de Ediciones: pp. 107-126, 1986

(2) E. Muñoz, *Arbor* 475-476, 13, 1985

(3) E. Muñoz y E. Robles, *Mundo Científico* 55, 214, 1986

(4) *Política Científica*. Editado por Ministerio de Educación y Ciencia, Secretaría de Estado de Universidades e Investigación, en especial los números de Febrero 1986 y el extraordinario de junio-setiembre 1986

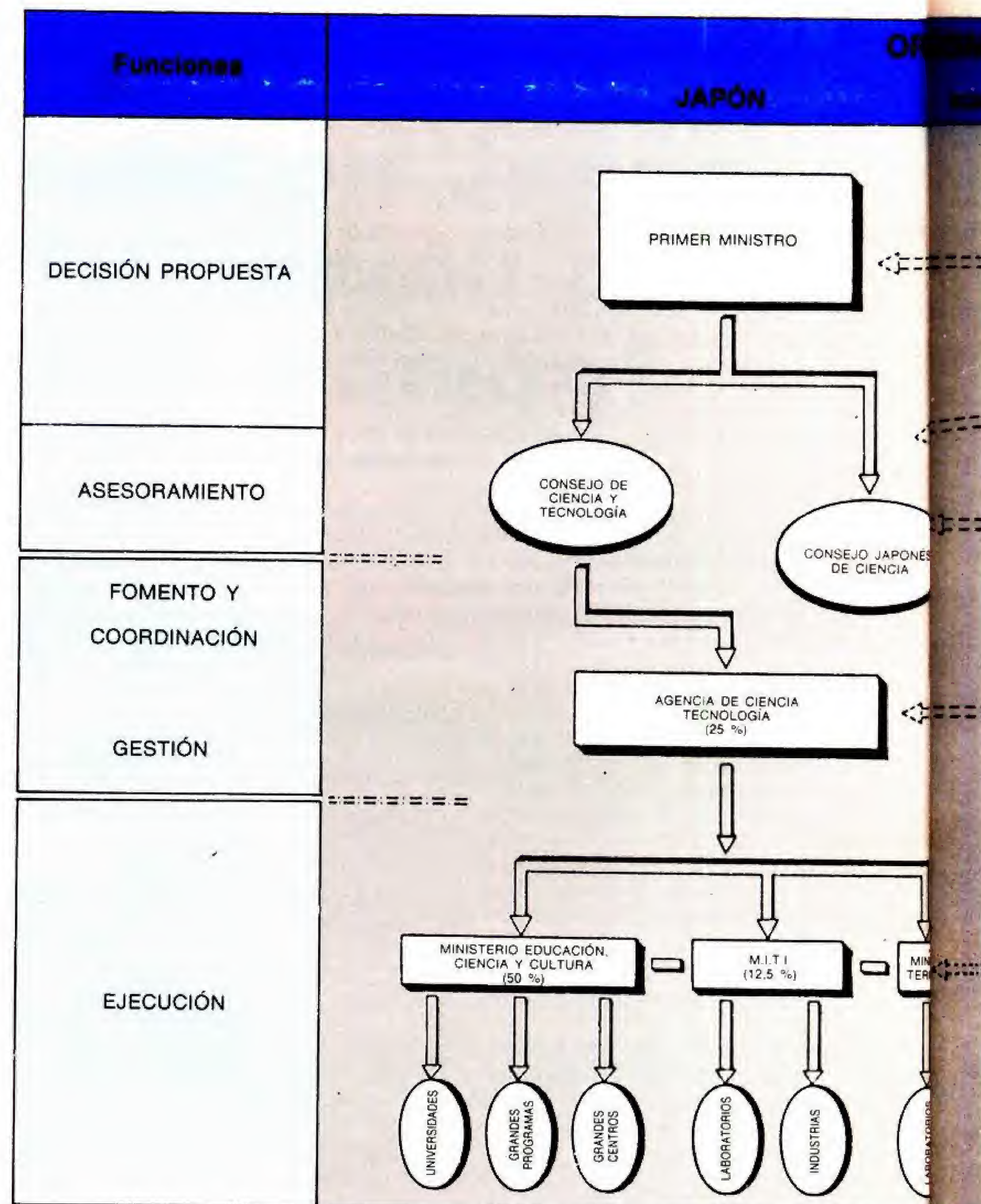
(5) L. Lynn, *Science* 233, 296, 1986

ha encaminado a reforzar la infraestructura nacional, a formar personal científico y técnico, y a promover y fomentar la investigación a medio y largo alcance que la industria no quiere o no puede afrontar. Es indudable que, dada la vocación de la industria japonesa evocada anteriormente, permite al sector Administración una política de complementariedad mucho más adecuada y efectiva que en aquellos países con menor contribución industrial.

– El consenso alcanzado, al que se ha hecho repetidas referencias, se ha visto favorecido por la estabilidad política.

Las cosas están cambiando, sin embargo. Por un lado, los reponsables de la política científica convienen en señalar que Japón ha alcanzado un estado de desarrollo en el que ya no podrá basar su posterior evolución en la experiencia –el «saber hacer»– de otros. En este sentido, apuestan por cambiar la imagen de Japón hacia la de una nación capaz de prestar decisivas contribuciones a la ciencia y a la tecnología. La política educativa, la actividad empresarial y la acción de la Administración se encaminan a la consecución de esos objetivos.

Es necesario señalar que también se vienen produciendo movimientos que afectan al consenso político alcanzado. El todopoderoso Ministerio de Comercio Internacional e Industria, el célebre MITI, empieza a ver cuestionado su papel central y casi exclusivo como mentor de las industrias líderes japonesas. Sólo la uniformidad política mencionada anteriormente viene limitando el desgaste del consenso.



La Organización Institucional en la Política Japonesa de Ciencia y Tecnología

En Japón la gran decisión sobre la política científica y tecnológica reside en el primer ministro. Dispone de dos Consejos Asesores, cuyas funciones se solapan en cierto modo.

El más importante es el Consejo para la Ciencia y la Tecnología (CCT) que formula políticas de largo alcance y presenta recomendaciones al primer ministro que es su presidente. Está constituido por los ministros de Economía y Educación, los directores generales de la Agencia para la Ciencia y la Tecnología y la Agencia de Planificación Económica. También forman parte del CCT el presidente del Consejo Japonés de la Ciencia y cinco personalidades de la vida científica e industrial.

Otro Consejo, el Consejo Japonés de la Ciencia (CJC) más antiguo que el anterior, representa esencialmente la posición de los científicos. La actividad asesora se centra esencialmente en los aspectos relativos a la promoción general del conocimiento y la formación de investigadores y valorización de la investigación. Ha sido un órgano enfrentado a la política global. Por esa razón, el CCT ha sobrepasado el CJC en sus funciones asesoras e, incluso, éste último Consejo ha visto modificadas sus reglas de modo que sus miembros,en lugar de ser elegidos por las diversas sociedades científicas, son nombrados por el primer ministro de acuerdo con las recomendaciones de dichas sociedades.

La cumplimentación de la política científica y tecnológica radica en el Gobierno, (principalmente en el Ministerio de Educación y Ciencia y el Ministerio de Comercio Internacional e Industrial) y en la Agencia de Ciencia y Tecnología. Estos tres Organismos asumieron en 1984 la responsabilidad del 90 % de los fondos destinados por el Gobierno a I+D. Funcionan con las aportaciones técnicas que les suministran sus propias instancias asesoras.

El Ministerio de Educación Ciencia y Cultura (MECC) gasta el 50 % aproximadamente de los fondos públicos de I+D a través de la formación de científicos y técnicos, del fomento de la investigación en universidades y otras entidades, y de la gestión de varios laboratorios de investigación.

Dos tercios del presupuesto se orientan al apoyo de la investigación y la enseñanza en las universidades. Este Ministerio ha jugado un papel decisivo en el programa destinado a incrementar el número de científicos e ingenieros, a través de un plan de diez años. Además el MECC fomenta la investigación y la diseminación de los resultados por medio del programa de ayudas otorgadas por mecanismos competitivos. Otros fondos se destinan a financiar los grandes programas unificados y centralizados de investigación básica en áreas prioritarias (Física de Altas Energías, Ciencia Molecular e Investigación Polar).

La Agencia de Ciencia y Tecnología gestiona un cuarto del presupuesto y fue establecida en 1956 con objeto de coordinar las actividades de los distintos

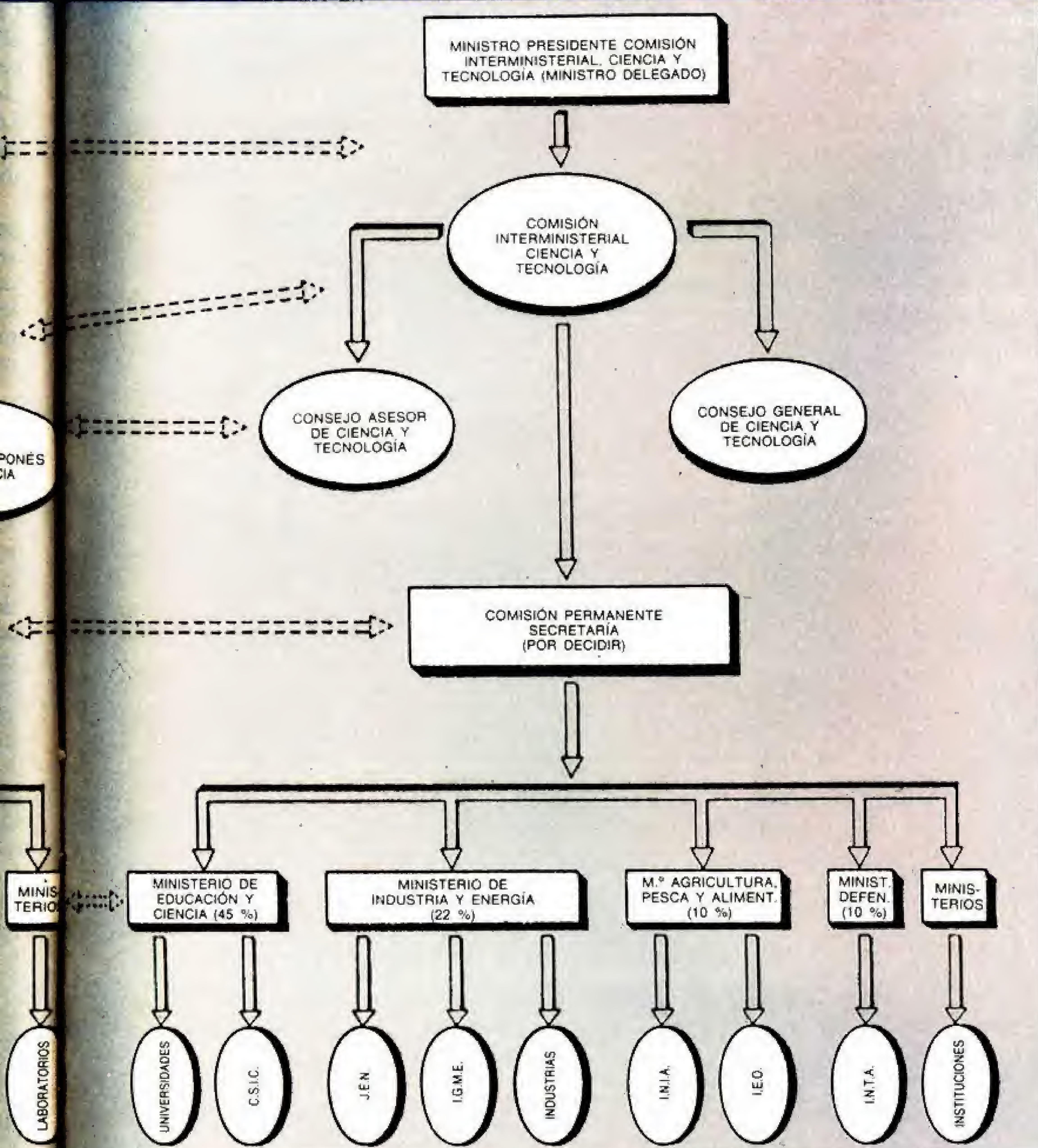


Figura 2. Comparación entre la organización y funciones de los sistemas de I+D en Japón y España. Entre paréntesis figuran dentro de los cuadros los porcentajes del presupuesto que gestionan las diferentes instituciones.

Ministerios y con el fin de asumir aquellas tareas no atribuidas sectorialmente a ningún Ministerio. La Agencia recibe el 40 % de los fondos horizontales de coordinación, decide los presupuestos de los ministerios y colabora con el CCT para planificar y fomentar el desarrollo científico y tecnológico. No obstante la importancia de su papel, se considera que el porcentaje de fondos que la Agencia controla es insuficiente para ejercer cumplidamente sus tareas de coordinación. Es importante indicar que la mayor parte del personal de la Agencia tiene su origen en los distintos Ministerios y que la Agencia gerencia sus laboratorios nacionales y administra instituciones públicas empleadas en el desarrollo y promoción de la energía nuclear, de los recursos marinos y del espacio.

El Ministerio de Comercio Internacional e Industria Tecnológica (MITI el acrónimo de su nombre en inglés) asume sólo la octava parte del presupuesto de ciencia y tecnología. A pesar de esta reducida participación en el presupuesto, el papel del MITI en el sistema I+D japonés es relevante, puesto que ejerce su actividad en el asesoramiento de empresas, en la obtención de beneficios para ellos, tanto fiscales como liberalizadoras de disposiciones monopolíticas, y en la regulación de las importaciones. Hoy día, el MITI juega un rol esencial en la coordinación de la investigación entre el sector público y la industria.

El MITI administra una serie de laboratorios, fundamentalmente orientados a la realización de tareas «precompetitivas».

El resto del presupuesto de I+D se distribuye entre los otros Ministerios con capacidad para ejecutar investigación (esto es Ministerio de Salud y Bienestar, Ministerio de Agricultura, Bosque y Pesca; Ministerio de Transportes; Ministerio de la Construcción; Ministerio de Correos y Telecomunicaciones).

Comparación entre los Sistemas Japonés y Español de Ciencia y Tecnología

El cuadro adjunto (fig. 1) ofrece un esquema comparativo de las organizaciones de los sistemas Ciencia y Tecnología de Japón –que acabamos de describir sumariamente– y de España como queda tras la aprobación de la Ley de Fomento y Coordinación de la Investigación Científica y Técnica.

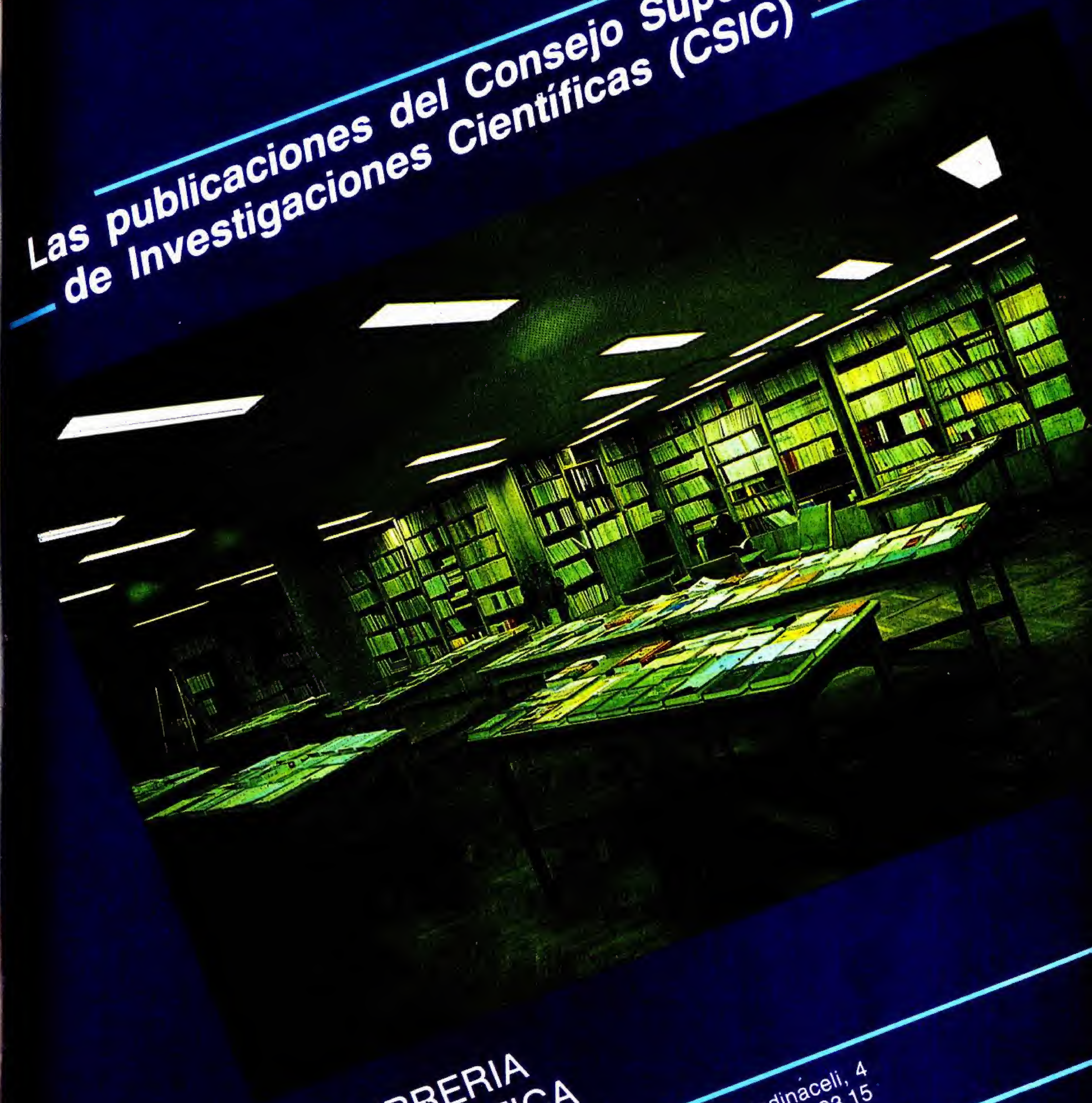
Es realmente sorprendente la gran semejanza entre ambas organizaciones, tanto más sorprendente cuanto que, durante la elaboración de la Ley de Investigación, no se disponía de la información relativa a la organización japonesa. No se trata, por tanto, de una inspiración o influencia, sino de una curiosa e interesante convergencia, que conviene subrayar, sobre todo a tenor de las acusaciones de estatalización o burocratismo que se han hecho a la ley española desde diferentes foros.

Con respecto al sistema japonés, conviene desmitificar el papel del MITI, esencial pero exclusivo. Esta idea es importante para contrarrestar la importancia que se ha atribuido, desde informaciones poco contrastadas. Es necesario insistir en que el sistema japonés afronta dificultades de coordinación como en casi todos los países, superados por la idiosincrasia japonesa y sus coordenadas políticas. En ello y en la actitud de los agentes radican las diferencias entre España y Japón (fig. 2). Del presente contexto parece lógico concluir que España dispone de una organización de su sistema Ciencia Tecnología homologable con el de uno de los países que ha experimentado mayor despegue científico y tecnológico. Con esta conclusión que puede ser necesaria, pero obviamente no suficiente, la puerta española está más abierta al horizonte de la investigación, el desarrollo y la innovación. La sociedad, en su conjunto, y los colectivos más directamente implicados (Científicos y Empresas) tienen la palabra.[6] ■

(6) La preocupación por incrementar las funciones coordinadoras ha consolidado, en el último gobierno del primer ministro Nakasone, la Agencia de Ciencia y Tecnología, colocando a su frente un ministro, Mr. Yohei Kono, ministro de Estado para la Cienca y la Tecnología.

Para más información:

- S. Minabe, *Japanese Competitiveness and Japanese Management Science* 233, 301, 1986
- Science and Technology Agency, *Indicators of Science and Technology* (Tokyo 1985)
- H. Eto, *R&D Management Systems in Japanese Industry* (H. Eto and K. Matsui, Eds), Elsevier, Nueva York 1984.


Las publicaciones del Consejo Superior
de Investigaciones Científicas (CSIC)
LIBRERIA
CIENTIFICA
MEDINACELI
Duque de Medinaceli, 4
Teléfono (91) 429 93 15
28014-Madrid
(España)
VISITENOS

Las momias de Groenlandia

por Jens Peder Hart Hansen

Momias de esquimales que datan del siglo XV: he ahí algo que no es corriente. Han sido descubiertas en Groenlandia, y su excepcional estado de conservación ha dado lugar a unos meticulosos estudios antropológicos. Radiografías, análisis de órganos y de tejidos, examen de la dentición e incluso fotografías con infrarrojos: todo el arsenal científico de que disponen los paleopatólogos ha sido utilizado. Del estudio de las enfermedades y de las causas de la muerte de los esquimales, se pasa a una reconstrucción de su ambiente, de su modo de vida y también de ciertas prácticas culturales de las que hasta hoy bien poco se sabía.

B



Figura 1. Al noroeste de Groenlandia, al pie de un acantilado, fueron descubiertas las momias de unos esquimales del siglo XV (A). La conservación de los cuerpos era tan perfecta, que los cazadores que los descubrieron pensaron que el niño más pequeño era una muñeca (B). Gracias a los análisis efectuados, los científicos daneses pudieron reconstruir en parte el modo de vida y, en algunos casos, la causa de la muerte de estas mujeres y estos niños (Foto A: Museo de Groenlandia; foto B: Hospital Gentofte, de Copenhague.)



Jens Peder Hart Hansen es director del servicio de patología del Hospital Gentofte, de Copenhague. Se interesa mucho por las cuestiones de sanidad en el medio polar, así como en la paleopatología. Desde 1985, es miembro del Comité Ártico Internacional.

Las momias de Quilakitsoq han sido examinadas en todos sus aspectos.

Hace algunos años, un hermoso día de otoño, Hans y Jochum Grønvold cazaban la perdiz de nieve cerca de un antiguo establecimiento de Qilakitsoq, situado a unos ocho kilómetros al sur de Umanak, en el noroeste de Groenlandia (fig. 1A). Al pasar bajo un acantilado a pico, Hans observó unas extrañas piedras planas. Intrigado, las movió y descubrió entonces dos tumbas que contenían varios cuerpos de esquimales, completamente vestidos; entre ellos, el de un niño de corta edad, tan bien conservado que en el primer momento Hans creyó que se trataba de una muñeca (fig. 1B). Los dos hermanos dieron inmediatamente aviso al Museo Nacional de Groenlandia, en Nüük/Godthaab, la capital. Sin embargo, hubieron de transcurrir siete años antes de que los dos conservadores del museo, Jens Rosing y Gerda Møller, acudieran a inspeccionar los lugares. En Pascua de 1978, el cuerpo del niño y el de otro algo mayor fueron retirados de la tumba y enviados al Museo Nacional de Dinamarca, en Copenhage, para su examen. Se enviaron también unos trozos de piel del vestido, para efectuar su datación. Estos esquimales habían vivido y muerto alrededor del siglo XV (1475 ± 50 años, según reveló el C^{14}), es decir, durante el período en que esquimales y normandos cohabitaron en Groenlandia: los esquimales ocupaban las costas norte y noroeste, mientras que los normandos se habían instalado en la costa sureste. La última migración de esquimales llegados a Canadá empezó hacia el año 1000 y los vikingos de Eric el Rojo llegaron alrededor de 986. Esta presencia duró poco, ya que los últimos descendientes de los vikingos abandonaron Groenlandia alrededor de 1500.

El descubrimiento de estos cuerpos tiene una importancia capital para el conocimiento de Groenlandia y del Ártico. Las momias ofrecen la posibilidad de saber algo más sobre el modo de vida de los esquimales en una época de la cual disponemos de poca información. En cuanto a sus vestidos y a las numersosas pieles presentes son los más antiguos jamás encontrados. Las series de análisis a las que han sido sometidas las momias (véase «Las momias egipcias», en nuestro número de setiembre de 1983) permiten hoy apreciar el estado general de salud de un individuo, la calidad de su alimentación y de su entorno, así como las repercusiones que pudo tener su modo de vida en su estado general. Interesantes cuando se trata de un personaje célebre como Ramsés II,(1) estos resultados adquieren un valor todavía mayor cuando, a través de ellos, es posible estudiar cuál era el modo de vida de un grupo humano mal conocido, como los esquimales del siglo XV.(2)



A



C

Las dos tumbas encerraban, además de los niños, otros dos pequeños de seis meses y cuatro años de edad, respectivamente, y seis mujeres de edades comprendidas entre veinte y cincuenta años. La desecación había permitido a cuerpos y vestimenta una buena conservación: todo estaba momificado. Normalmente, los cadáveres se pudren, pero tenemos ahí un valioso ejemplo de momificación natural, en la que la desecación y las bajas temperaturas han tenido un importante papel. Téngase en cuenta que a 450 kilómetros al norte del círculo polar, la temperatura anual media es siempre inferior a 0 °C; desciende hasta − 40 °C en invierno y sólo llega a 15 °C durante algunos días de verano. Por otra parte, las tumbas estaban orientadas al norte y perforadas en la vertical de un acantilado que las protegía del sol, de la nieve y de la lluvia. Esta tumba representa un modo de inhumación especial, todavía desconocido en Groenlandia. Por lo general se construye una cámara mortuoria de piedra que se recubre con losas. Por otra parte, estas tumbas pueden ser reutilizadas arrinconando en un extremo los huesos antiguos para dejar lugar al nuevo cuerpo. Hay otros tipos de enterramiento conocidos como, por ejemplo, los de grutas. En el este de Groenlandia, los cuerpos se confiaban al mar. En el presente caso, no sabemos si todos los cadáveres fueron enterrados al mismo tiempo o si lo fueron con varios años de intervalo. Lamentablemente, el método de datación del C^{14} no es muy preciso para indicárnoslo. No obstante, ciertos detalles dejan suponer que hubo varias inhumaciones sucesivas. Así, muchos de los dientes del niño de cuatro años se han hallado fuertemente hundidos en el tejido momificado de la espalda y del cuello. Es probable que el cadáver fuera movido algunos años después de la muerte y, así, que los dientes salieran de sus alveolos. Como en aquel momento el proceso de momificación no había terminado y probablemente los tejidos estaban reblandecidos por la putrefacción, los dientes pudieron hundirse en ellos. Luego, acabó el proceso de momificación y los dientes se fijaron en los lugares donde fueron encontrados. Después de su descubrimiento, las momias de Qilakitsoq fueron transportadas hasta el Museo Nacional danés en Copenhague para que los vestidos y pieles de foca que las acompañaban y les habían servido de lecho pudieran ser conservados. En total se hallaron setenta y ocho vestidos distintos; prendas exteriores e interiores, pantalones, botas *(kamiks)* y pieles que procedían, probablemente, de tiendas y de habitáculos invernales. Todos estaban secos, rígidos y cubiertos de moho, lo mismo que los cadáveres. Su examen, realizado bajo la

(1) *La momie de Ramsès II*, Editions Recherche sur les Civilisations, París, 1985.
(2) J.P. Hart Hansen, J. Meldgaard, J. Nordqvist, *De grønlandske mumier fra 1400-tallet*, Grønlands Landsmuseum, Nüük/Christian Ejlers', Forlag, Copenhague, 1985.

dirección de Gerda Møller, demostró que, en aquella época, los esquimales llevaban bajo el vestido una camisa de piel de ave y unos calzones de piel de foca. Encima, usaban anorak también de piel de foca, pantalones largos de la misma piel o bien de reno, medias de piel de foca o también de reno en el interior de las botas, y unas botas de piel de foca impermeable sin pelo (fig. 2).

Se han descubierto muchos detalles referentes a la fabricación de los vestidos de trabajo y de viaje, a la vez cálidos y aislantes. Como ejemplo de la perspicacia y de la habilidad de las mujeres esquimales, puede describirse la fabricación de una camisa de piel de ave. Está compuesta por muchas pieles de ave (cormorán, eider, eider real, oca, colimbo chico y pato) cosidas. Se utilizaban las pieles de pluma corta y espesa para aquellas partes del vestido que debían asegurar al cuerpo una protección máxima contra el frío, mientras que los puños y el cuello se hacían con pieles de pluma menos espesa, para que permitieran el escape del calor. Desde un punto de vista térmico, este tipo de vestido era ideal para afrontar los fríos del Ártico. De una parte, constituía un magnífico aislamiento contra el frío y, de otra, permitía que durante la realización de trabajos duros pudiera eliminarse el exceso de calor, pero sin sudor, ya que «respiraban», de manera que los esquimales podían sentirse cómodos en el frío. Si se comparan estos vestidos con los que usaban los esquimales en tiempos todavía recientes, se aprecia que no hay gran diferencia, lo que explica, sin duda, el carácter altamente funcional de estos vestidos.

A



B



D



Figura 2. Los vestidos de las momias de Qilakitsoq están extraordinariamente bien conservados y permiten apreciar su perfecta adaptación a las condiciones climáticas, muy duras, de Groenlandia. Bajo los pantalones largos y el anorak de piel de foca (A y B), los esquimales llevaban camisas de piel de ave y calzones de piel de foca (C). Unas botas impermeables también de piel de foca, completaban su vestimienta (D). Estas prendas estaban pensadas para proteger del frío, pero también para permitir la eliminación del calor del cuerpo sin provocar exudación. El carácter tan funcional de estos vestidos ha hecho que no se hayan modificado apenas en el transcurso del tiempo. (Fotos Museo Nacional de Dinamarca.)

Autopsia de una cultura

El descubrimiento de los cuerpos de Qilakitsoq y su excelente estado de conservación iba a permitir dar respuesta a muchas preguntas. ¿Cuándo y cómo habían muerto? ¿Estaban emparentados? ¿Podía este hallazgo proporcionarnos datos sobre sus condiciones de vida, sus enfermedades, su entorno y los animales que cazaban? Era evidente que la aplicación de los métodos de la medicina y de las ciencias, naturales modernas nos permitiría obtener estas informaciones y, así, se inició una vasta colaboración entre científicos de múltiples disciplinas en los campos de la historia cultural, la medicina y las ciencias naturales. Gracias a los estudios de antropología física llevados a cabo por J. Balslev Jørgensen, de la universidad de Copenhague, a las radiografías con rayos X y al examen de la dentición pudo determinarse la edad de las mujeres y de los niños. La estatura de las primeras era aproximadamente igual a la de las actuales groenlandesas. El hecho de que algunas de aquellas mujeres se aproximaran a la cincuentena demuestra que, incluso en aquella época, era posible llegar a una edad relativamente avanzada, a pesar de que la esperanza de vida media era indudablemente baja, debido a la elevada mortalidad por accidentes, epidemias, partos, etc. Téngase en cuenta que entre 1901 y 1930 la esperanza de vida media de los esquimales del oeste de Groenlandia sólo era de 23,6 años para los hombres y de 28,8 años para las mujeres. Entre 1946 y 1951 no sobrepasaba todavía los 32,2 y 37,5 años, respectivamente, para el conjunto de Groenlandia. Posteriormente la situación ha mejorado, de forma que entre 1976 y 1980 la esperanza de vida media ha pasado a ser de 57,2 años para los hombres y de 66,6 años para las mujeres.

Dado el buen estado de conservación de cuatro de las momias, se decidió que podrían exponerse permanentemente en el Museo Nacional de Groenlandia, en Nûûk, y que, por tanto, su estudio se limitaría al mínimo, es decir, consistiría esencialmente en una radiografía, una técnica no destructiva a la vez que muy útil para un gran número de análisis. A partir de este simple examen, es ya posible determinar la edad de una persona, la presencia, de enfermedades modificadoras del esqueleto (raquitismo, tumores, tuberculosis, lepra) y de otras afectaciones causantes de la formación de cálculos o de calcificaciones. De esta manera, pueden descubrirse malformaciones y fracturas.

El más pequeño de los niños, y también el mejor conservado, no ha sido objeto de ningún examen que pudiera estropear los vestidos o el cuerpo (fig. 3). Como los demás, fue radiografiado y solamente se le quitaron algunos cabellos para proceder a su análisis. No sabemos con certeza si se trata de un niño o de una niña. De las otras tres momias en buen estado, solamente se han tomado algunas muestras de tejidos practicando una pequeña abertura en la espalda, pero no se ha efectuado, ningún otro tipo de examen que pudiera dañar los cuerpos o los vestidos qûe, por otra parte, no les fueron quitados.

En cuanto a las restantes cuatro momias, dado su mal estado de conserva-

Entre el ahogamiento y las epidemias, son muchas las razones que podrían explicar la muerte de los esquimales.

ción, se decidió conservar sus vestidos y utilizar los cuerpos, parcialmente putrefactos, para análisis.

Hemos intentado saber cuál habría podido ser la causa de la muerte de estas personas. Se podían formular hipótesis (enfermedad, ahogamiento, epidemia), pero a pesar de nuestros esfuerzos para verificarlas, no nos ha sido posible en todos los casos determinar la causa de la muerte.

Estudiamos la posibilidad de una muerte colectiva, por ahogamiento o por epidemia. Ya inmediatamente después del descubrimiento se sugirió que podría tratarse de víctimas de un ahogamiento colectivo. Aquellas personas habrían llegado cerca de la costa en la embarcación especial de las mujeres, el *umiak,* al mismo tiempo que sus compañeros, que navegaban en los kayaks. En aquel momento, el movimiento de un iceberg podría haber provocado la formación de una gran ola que habría hecho zozobrar la embarcación, mientras que los hombres, gracias a la mayor manejabilidad de sus embarcaciones, habrían evitado el desastre. Mujeres y niños habrían perecido ahogados y sus cadáveres serían luego arrojados a la orilla. Se hicieron investigaciones para tratar de esclarecer estas hipótesis.

Así, Niels Foged, examinando los tejidos de las momias observó la presencia de diatomeas idénticas a las que se hallan en las aguas próximas a Qilakitsoq. Algunos expertos forenses afirman que es importante demostrar la presencia de estas diatomeas, si se desea afirmar que fue el ahogamiento la causa de la muerte. Esta investigación llegó a la conclusión de que la presencia de diatomeas no podía ser, en este caso, de ninguna ayuda. Tratamos de saber entonces si la arena hallada en los vestidos y en las pieles de foca era la misma que la de las playas a las que habrían podido llegar los cadáveres; la ausencia de manoplas en las manos indicaba que la muerte les sobrevino en verano, en un momento en que las playas están libres de hielo y de nieve. El análisis mineralógico realizado por Martin Ghisler, de *Geological Survey of Greenland,* demostró que la arena no contenía ni el menor indicio de los minerales característicos de la playa local.

Hay otros elementos que también hacen descartar la teoría del ahogamiento. Según los habitantes de la región, parece imposible que el accidente ocurrido a la embarcación hubiera podido acarrear la muerte de sus ocupantes. Por otra parte, si la embarcación hubiera zozobrado, hubiera sido posible hallar algunos vestigios de ella en la tumba, ya que en tiempos pasados era costumbre recubrir a los ahogados con las pieles de sus embarcaciones. Ni los kayaks ni otros útiles podían ser utilizados, si habían causado la muerte de seres humanos, ya que ello acarreaba mala suerte.

La segunda hipótesis que debíamos tener en cuenta era la de una epidemia. Sabemos que el país había sido devastado varias veces por epidemias (disenterías, peste, etc.) y nuestros personajes hubieran podido ser sus víctimas. Los tejidos tomados a las momias fueron examinados en laboratorio, pero hasta el momento los resultados han sido negativos. Sin embargo, procede señalar que los métodos de investigación de que actualmente disponemos no están los suficientemente perfeccionados para averiguar con toda certeza si unas momias tan antiguas y tan disecadas fueron o no víctimas de una epidemia.

Por último, entre las posibles causas de muerte había que tener en cuenta el hambre, ya que los tiempos de escasez eran frecuentes; pero, todos los elementos de que en este caso disponemos contradicen tal hipótesis. Varias de las mujeres presentaban una buena forma física, y las pieles que las acompañaban no mostraban indicios de haber sido masticadas, cosa corriente cuando el fallecimiento es producido por el hambre.

Y una última hipótesis para acabar con las causas colectivas de muerte: la de un envenenamiento, ya que, incluso en nuestros días, la intoxicación por alimentos después de la ingestión de carne o mariscos en malas condiciones es corriente en todo el Ártico. Pero tampoco esta posibilidad queda avalada por ninguno de los indicios de que disponemos.

Entonces ¿de qué murieron?

La hipótesis de muertes individuales parece, pues, más probable; pero el único caso del cual tenemos pruebas suficientes es el de una de las mujeres más viejas, cuyo cráneo se presenta destruido en su parte inferior a causa de un tumor maligno. Las lesiones óseas observadas son idénticas a las que hoy presentan los enfermos que padecen cáncer nasofaríngeo. El índice de aparición de este tipo especial de cáncer varía mucho según las áreas geográficas: se presenta preferentemente en los individuos de tipo mongoloide y, sobre todo, en ciertas regiones de China. Se encuentra también con relativa frecuencia en los esquimales de Groenlandia (actualmente, su índice es veinticinco veces más alto en Groenlandia que en Dinamarca), de Canadá y de Alaska.

A

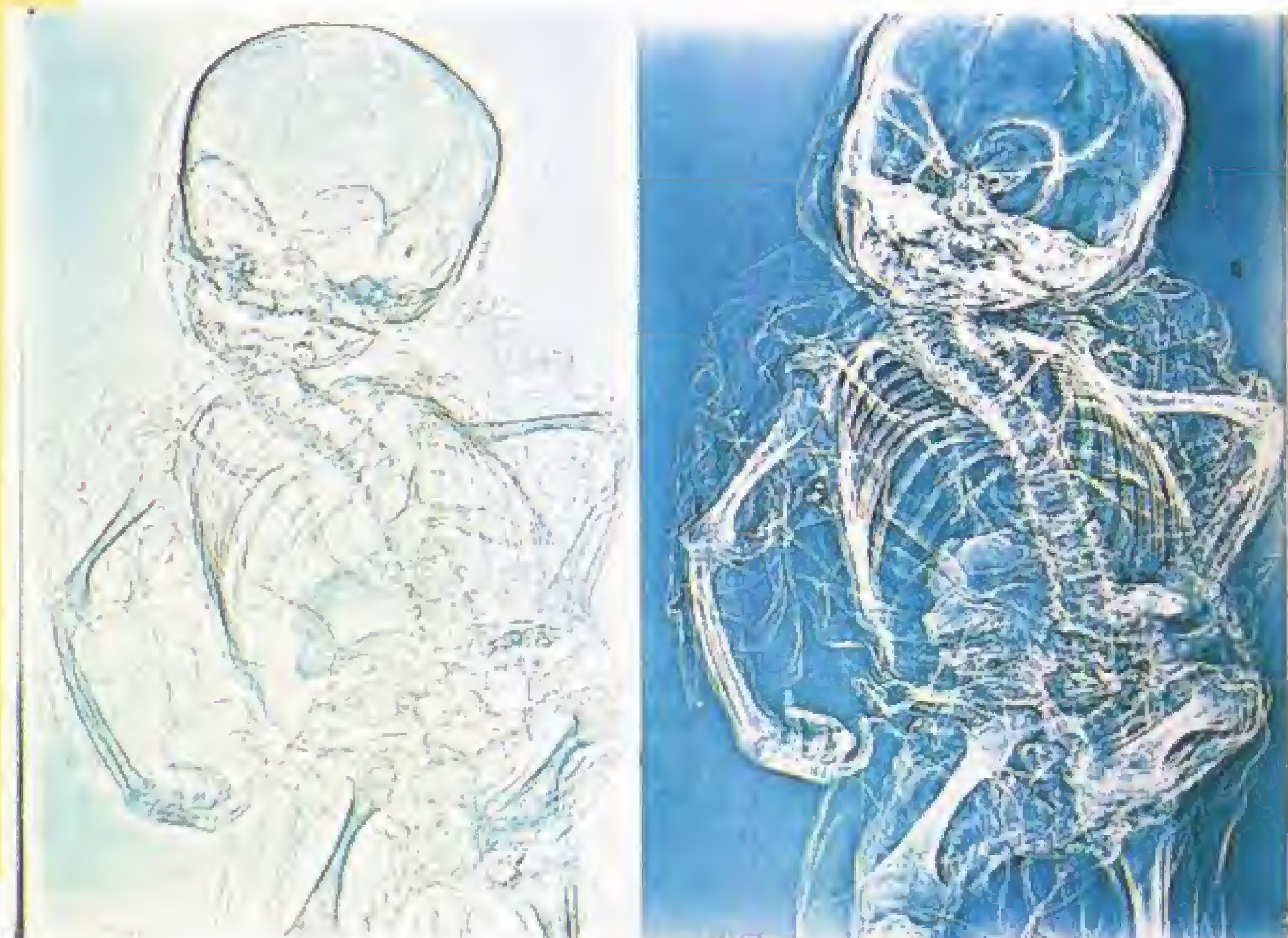


Otra región de alto riesgo es África del Norte, mientras que se halla sólo muy raramente en Europa y Estados Unidos.

A pesar de que no ha sido posible proceder a un examen microscópico de los tejidos, no tenemos duda alguna sobre la naturaleza de la enfermedad de esta mujer. Es muy probable que fuera ciega del ojo izquierdo y que no oyera debido a la destrucción de los tejidos retrooculares temporales. Dada la importancia de estas lesiones, resulta evidente que había llegado a la fase terminal de la enfermedad, a pesar de que, según parece, había seguido trabajando casi hasta su muerte: en la uña de su pulgar izquierdo han podido observarse varias señales transversales del cuchillo tradicional de las mujeres –el *ulo*–, señales debidas, probablemente, a que esta uña le servía de soporte cuando con el cuchillo cortaba hilo de tendón.

La causa de la muerte de las demás personas, especialmente en las momias que se han conservado intactas, no ha podido determinarse con exactitud. No obstante, según la radiogrfía, el niño de cuatro años parecía estar afectado de mongolismo, enfermedad congénita y no hereditaria, que va acompañada de deficiencia intelectual y de diversas malformaciones. Además, presentaba modificaciones en la cadera izquierda, sintomáticas de lo que se denomina

Figura 3. Algunas momias –aquí, una joven de 25 años (A) y el niño de 6 meses (B)– presentaban tan buen estado de conservación que se decidió exponerlas tal como estaban. Sólo se efectuaron radiografías en rayos X y se hicieron algunas pequeñas tomas de tejidos musculares, pero de manera que no se dañara ni el cuerpo ni los vestidos. Las radiografías –aquí puede verse la del niño de seis meses (C)– proporcionaron muchas informaciones sobre el estado de salud de la persona, las fracturas, las malformaciones y las enfermedades que pudo sufrir. La mujer presentaba cálculos renales, pero el niño parecía gozar de perfecta salud, por lo que no fue posible determinar las causas de su muerte ni tampoco su sexo. Tan sólo el corte de sus vestidos permitía suponer que se trataba de un varón. (Fotos A y B: Museo Nacional de Dinamarca; foto C: Hospital de Gentofte, Copenhague.)



enfermedad de Calvé-Perthe. Esta afección entraña lesiones de la cabeza del fémur, sin que se pueda saber su causa, y se presenta con mayor frecuencia entre los niños de cinco a diez años. A pesar de ello, podría proponerse otro diagnóstico, ya que se observan modificaciones casi idénticas a consecuencia de una inflamación de la articulación de la cadera. Indudablemente el niño debía tener dificultades para la marcha, y el contenido en calcio de sus huesos, netamente inferior al normal, indica que no debía poder moverse de manera correcta. Es probable que su resistencia a las enfermedades y al hambre estuviera bastante disminuida. Por otra parte, el índice de mortalidad debida a enfermedades cardíacas congénitas y a leucemia es más elevado entre los niños afectados de mongolismo. Por tanto quizás estas enfermedades provocaron su muerte, aunque cabe formular así otra hipótesis. En tiempos pasados y en determinadas circunstancias en Groenlandia se mataba a los minusválidos, tanto niños como adultos, o bien se les abandonaba, con lo que quedaban condenados a morir de hambre y de frío. Pero los exámenes practicados no han permitido descubrir ningún rastro de violencia.

Las mismas suposiciones podrían hacerse sobre la suerte del más pequeño de los niños. Según las radiografías, sólo puede decirse que parecía gozar de perfecta salud. Evidentemente, pudiera ser que este niño hubiera muerto de una enfermedad que no ha sido posible descubrir en la radiografía. Pero también pudo ocurrir que hubiera sido enterrado vivo con el cadáver de su madre. Antiguamente era una práctica corriente: si la madre moría antes de que el niño hubiera sido destetado y no había podido encontrarse otra nodriza, se creía obrar compasivamente matando al niño o enterrándolo vivo junto a su madre, antes que dejarlo morir lentamente de hambre.

La radiografía de una de las mujeres jóvenes (fig. 3A), de unos veinticuatro años de edad, puso de manifiesto lesiones que hubieran podido contribuir a su muerte: a la derecha de las primeras vértebras lumbares, aparecieron dos concreciones. Una de ellas es un cálculo renal que pudo entrañar una disminución de la función de los riñones con el sufrimiento consiguiente. La otra concreción era un fragmento de hueso de foca o de oso polar. Este fragmento, se había alojado probablemente en el intestino, quizá el duodeno, y es posible que hubiera ocasionado un cese de la función intestinal o provocado un desgarro en las vísceras abdominales. A pesar de que este fragmento óseo tiene un tamaño bastante importante, posiblemente siguió el proceso normal de tránsito a través del cuerpo humano junto con las demás materias alimentarias.

Considerando la dilatación de abdomen de otra de las momias, una mujer de unos treinta años, se supuso inmediatamente que estaba embarazada. Ahora bien, si éste hubiera sido el caso, su embarazo habría sido de cinco meses, lo que nos hubiera permitido ver los huesos del feto en rayos X, pero no fue así. Eliminada la tesis de la gestación, quedaba la posibilidad de un quiste en uno de los ovarios y, como es sabido, esto produce la muerte sólo en raras ocasiones. Pero es posible –y verosímil– que los gases producidos por la putrefacción provocaran la dilatación del abdomen, cuyas huellas conservan la pared abdominal momificada y los vestidos disecados de piel.



Figura 4. El estudio de los dientes de las mujeres ha dado algunas indicaciones sobre su estado de salud, pero también sobre ciertos hábitos culturales. El hecho de sostener entre los dientes una piel de foca mientras se la desengrasa, o mascar el cuero destinado a la suela de las botas, como lo hace esta mujer de Thulé fotografiada en 1909, acaba por producir un gran desgaste de las piezas dentales, especialmente de los incisivos. Este desgaste ha podido comprobarse también en la dentadura de las momias, especialmente en la de las mujeres de más edad. (Foto Museo Nacional de Dinamarca, Copenhague.)

Siempre gracias a las radiografías, supimos qué enfermedades habían sufrido estas mujeres durante su vida. Por ejemplo, la mujer muerta de cáncer tenía una fractura de la clavícula izquierda que no se consolidó y motivó una articulación anormal. Los extremos de la fractura debían rozar uno con otro, provocando dolores y probablemente una dificultad de movimientos.

Los esquimales presentan en sus esqueletos un contenido relativamente bajo de calcio, lo que les predispone a las fracturas, y nosotros pudimos observar en las momias de las mujeres de más edad varios indicios de fracturas, especialmente en las vértebras, que se habrían producido en los viajes en trineo sobre terrenos accidentados o en la banquisa. Se observaron también varias y frecuentes modificaciones de los huesos y de las articulaciones debidas a la artrosis. A pesar de nuestras dudas sobre las distintas causas de las muertes, podemos decir que el estado general de salud de este pequeño grupo de esquimales parece haber sido bastante bueno, y la presencia de mujeres que rozaban la cincuentena indica que, a pesar de un entorno muy difícil, su esperanza de vida era importante.

La sepultura era, quizá, familiar

El apiñamiento de los cuerpos hallados en las dos tumbas ha hecho que se planteara la posibilidad de un eventual parentesco. No hemos podido determinar el grupo sanguíneo de las momias, pero al analizar –para estudiar su similitud– la estructura de los tejidos musculares tomados de todas las momias, a excepción del niño más pequeño (sistema HLA), Hanna E, Hansen, del Instituto médico legal de la universidad de Copenhague, se propuso investigar el posible parentesco entre todas aquellas personas. Los resultados de estos análisis son especialmente interesantes. Sabemos con toda certeza que algunas de dichas personas no pudieron estar emparentadas. En otras, la pertenencia a una misma familia no puede descartarse. Así pues, los cuerpos hallados en una de las tumbas podrían muy bien ser los de una abuela, dos de sus hijas y un nieto, mientras que es posible que los de la otra tumba fueran dos hermanas de la abuela y una hija de una de estas hermanas. En cambio, no hemos podi-

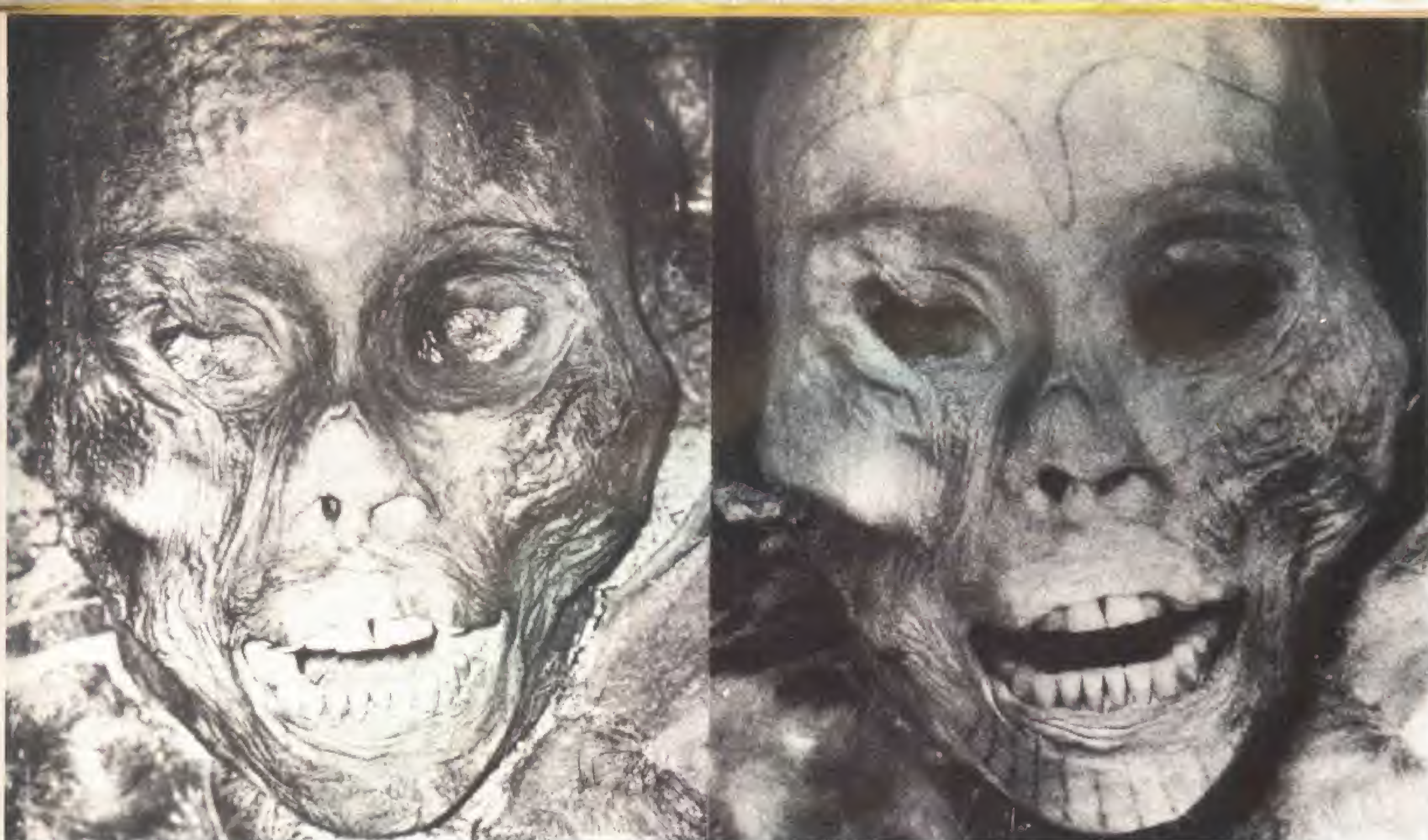


Figura 5. Se pudo haber pensado que en momias tan desecadas era imposible hallar vestigios de los tatuajes con los que los esquimales, hombres y mujeres, se adornaban el rostro. Pero gracias a la fotografía de infrarrojos, se hicieron visibles los tatuajes de la mujer de 30 años. Son idénticos a los que pueden observarse en el más antiguo retrato que nos ha llegado de un groenlandés y que data de 1654. Los tatuajes hacían que los hombres fueran afortunados en la caza y ayudaban a las mujeres en sus tareas cotidianas. Pero, sin duda, servían también para indicar la pertenencia a una familia o a una determinada tribu. (Foto E. LØytved.)

do saber si en estos esquimales había o no mestizaje y poseían ya los genes europeos de los balleneros o los normandos que habitaban en Groenlandia.

Nuestras momias nos han facilitado también información abundante sobre lo que podía ser la vida de los esquimales del siglo XV, su alimentación, sus tareas y el entorno en el que se desenvolvían.

El análisis del contenido en C^{12} y C^{13}, dos isótopos estables del carbono, en los tejidos debía de permitirnos la determinación de la parte de productos del mar y de la parte de productos de la tierra que entraban en el régimen alimentario, ya que los productos marinos contienen más C^{13} que los tejidos de los animales terrestres. El análisis del colágeno de la piel del niño de cuatro años, efectuado por Henrik Tauber, del Museo Nacional de Copenhague, demuestra que la alimentación estaba constituida en 75 % por productos marinos, sin duda alguna carne de foca, de ballena y de pescado, mientras que el reno y las plantas terrestres sólo representaban el 25 %.

El estudio de la dentición ha suministrado otros muchos datos sobre los muertos. Los esquimales se servían mucho de sus dientes, y no solamente para comer, sino como herramientas. La mujer esquimal suele mantener la piel de foca entre sus dientes cuando con su cuchillo retira la grasa que hay en el interior (fig. 4). Es frecuente reblandecer las pieles mascándolas. Estos trabajos acarrean un acusado desgaste de los incisivos, perfectamente visible en las mujeres más viejas de Qilakitsoq, cuyos dientes han sido estudiados por P.O. Pedersen y Jan Jakobsen, del Real Colegio Odontológico de Copenhague. En la superficie de masticación de algunos caninos e incisivos pertenecientes a las mujeres de más edad han observado algunas ranuras, que también están presentes en las mujeres del este de Groenlandia, observadas en los años treinta. Estas ranuras se formaban durante la transformación de los tendones en hilos para coser: los tendones gruesos se separaban primero con cuchillo; luego se pasaban a través de la boca frotándolos contra los dientes, de manera que se reblandecieran y se volvieran flexibles.

Así, en el esmalte de los dientes de una de las mujeres jóvenes se han observado irregularidades de un tipo parecido a las líneas transversales (líneas de Harris) que habían sido vistas en la radiografía de los fémures de una de las mujeres de más edad y que, generalmente se deben a una detención del crecimiento durante la infancia a causa de enfermedad o mala nutrición. Todas las momias presentaban grietas en el esmalte de los dientes, y muchas piezas dentarias estaban melladas por alimentos que contenían fragmentos de huesos y, quizá, piedrecitas, así como por su utilización como herramientas.

En cambio, ninguna de las momias presentaba caries. A principios de siglo, aún se observaba esta misma particularidad en los esquimales del este de Groenlandia. Esto se explica por el régimen alimentario tradicional de los groenlandeses. Hoy, la situación ha cambiado radicalmente y la caries dental plantea en el país un serio problema, a pesar de la puesta en marcha de una generosa política de prevención y de cuidados. Este cambio ha sido consecuencia de la adopción de un régimen alimentario europeo, demasiado rico en hidratos de carbono.

El examen de los dientes y de las vísceras nos ha brindado la posibilidad de establecer el menú cotidiano de las gentes de Qilakitsoq. A.M. RØrdam y B. Lorentzen, de la Escuela de Farmacia, y Bent Fredskild, de la Universidad de Botánica de Copenhague, han podido analizar las materias fecales de una de las momias y descubrir unos tejidos musculares de origen desconocido, pelos de foca, de reno y de liebre, así como plumas y plumón de perdiz de nieve y de pájaro bobo. Además, hallaron también polen procedente de muchas plantas locales, arena y pequeños fragmentos de madera de conífera, parcialmente quemados. Estos fragmentos probablemente provenían de armadías, recuperadas para la cocina y la calefacción, y se encontraron mezclados con los alimentos.

La presencia de piojos en las materias fecales no está exenta de interés. Todas las momias presentaban la cabellera infestada de estos insectos. Las liendres estaban adheridas a los cabellos y los piojos a la raíz. Estaban momificados, exactamente igual que los cadáveres y, por tanto, en excelente estado de conservación. Este descubrimiento de piojos en las heces confirma lo que contaban los primeros exploradores; según ellos, los esquimales de aquella época comían los piojos y los encontraban deliciosos. Indudablemente, en aquel tiempo, la mayoría de los habitantes de Groenlandia estaban más o menos infestados de piojos, sin que manifestaran por ello síntomas graves. En las momias, fueron encontrados también huevos de oxiuros, unas lombrices que viven en la parte inferior del intestino y ponen sus huevos cerca del ano. Aparte de cierta comezón, no suelen producir otros síntomas, y es muy probable que estos oxiuros no afectasen en nada la vida de los habitantes de Qilakitsoq. En

Hoy conocemos mejor el entorno en el que vivían los esquimales de Groenlandia en el siglo XV.

cambio, nuestras investigaciones sobre otros parásitos, las triquinas, no han dado resultado, cosa que parece sorprendente, ya que, todavía hoy, la triquinosis constituye un problema entre los cazadores del Ártico.

El examen microscópico de los tejidos pulmonares de una de las mujeres jóvenes demostró que había absorbido importantes cantidades de hollín. Es éste un fenómeno más explicable en las gentes que han respirado el aire de las grandes ciudades durante muchos años que en los esquimales groenlandeses, y los pulmones de aquella joven, que respiraba el aire puro del Ártico, no deberían haber contenido tales impurezas. Pero esto se debe, sin duda, al hecho de que las mujeres esquimales se ocupan del fuego y de la lámpara de aceite en el hábitat invernal, donde respiran gran cantidad de humo y de hollín.

Todas las informaciones que hemos podido reunir permiten trazar un cuadro bastante completo de la vida que llevaban los esquimales en el siglo XV. Su existencia nómada, siempre en busca de la caza, no era miserable, a pesar del invierno ártico y de la rudeza del entorno.

Lo que nos ha llegado de su vestimenta, por ejemplo, demuestra que sabían sacar partido de todos los recursos utilizables, llegando a un resultado funcional y elegante a la vez. También han podido reunirse otros datos de tipo cultural, y estoy pensando de manera especial en los tatuajes. Son muchísimos los trabajos históricos que hacen mención a los tatuajes de los habitantes de Groenlandia. Pero debido al estado de desecación de la piel de las momias no era posible descubrirlos. Por esto, Niels Kromann (Hospital Gentofte), Hans Kapel (Museo Nacional) y E. Løytved Rosenløv (Finsen Institute) prepararon una técnica especial de fotografía en infrarrojos que puso de manifiesto tatuajes en la frente, las mejillas y el mentón de cinco mujeres (fig. 5). Sólo una de ellas, de edad comprendida entre 18 y 22 años, no estaba tatuada. La técnica que empleaban aquellos esquimales era la del tatuaje por hilo, que consistía en hacer pasar a través de la piel una aguja con un hilo embadurnado con hollín u otro producto, mientras con el dedo se oprimía la piel que iba atravesando el hilo. En varios lugares de la piel de las momias pueden observarse pequeños rastros de agujas. Estos tatuajes son exactamente iguales a los que se ven en el más antiguo retrato conocido de un groenlandés, fechado de 1654. He trazado tan sólo un rápido bosquejo de algunas de las investigaciones científicas que se han llevado a cabo, pero gracias a ellas hemos reunido un precioso material de referencia para comparar el ambiente y el modo de vida pasados y actuales, y medir los efectos del abandono de la vida tradicional de los esquimales de Groenlandia.■

Las sorprendentes propiedades del «vacío» según las modernas teorías de la física corpuscular.

El rompecabezas de Darmstadt



Figura 1. En el laboratorio GSI de Darmstadt se han instalado tres grandes equipos experimentales con el fin de observar un curioso fenómeno: la producción de pares electrón-positrón «a partir del vacío» en presencia de un campo eléctrico fuerte. Este campo es el que crea durante un breve instante (10^{-21} segundos) la yuxtaposición de dos núcleos pesados en contacto durante una colisión. Para poner de manifiesto el fenómeno buscado hay que empezar por detectar los positrones emitidos durante estas colisiones. El equipo del profesor Paul Kienle, también director del laboratorio GSI, utiliza para ella un espectrómetro llamada ORANGE, debido a que la disposición de sus bobinas magnéticas evoca la disposición de los gajos de una naranja. El campo magnético toroidal creado por estas bobinas permite «transportar» los positrones desde su punto de creación (blanco) hasta un detector que sirve para medir su energía. Los positrones son focalizados hacia el centro del dispositivo en el que se encuentra el detector (no visible en la foto).

Los núcelos atómicos más pesados que existen en la naturaleza poseen una masa atómica (número total de protones y de neutrones) próxima a 250. Mediante colisiones entre estos núcleos es posible crear durante un breve instante –una ínfima fracción de segundo– un sistema superpesado, un «cuasiátomo» de masa atómica del orden de 500. Este sistema de dos átomos yuxtapuestos engendra localmente unos campos eléctricos y magnéticos extremadamente fuertes. Ahora bien, según una curiosa predicción de la electrodinámica cuántica (teoría cuántica del electromagnetismo), estos campos muy elevados pueden inducir un fenómeno poco común: la creación de pares electrón-positrón a partir del vacío.

Y efectivamente, en experimentos llevados a cabo con el acelerador de iones pesados Unilac de la Gosellschaft fur Schwerionenforschung (GSI) de Darmstadt (RFA), hemos observado una emisión de positrones característica de dicho fenómeno. Pero los tres equipos de investigadores, en su mayoría alemanes y norteamericanos, que trabajan en este campo en el laboratorio GSI han observado con sorpresa que se emite una proporción anormalmente elevada de positrones con una energía aproximadamente constante, del orden de 320 a 380 keV (kiloelectronvoltios) ¿Cuál es el mecanismo que origina este inesperado exceso de positrones? Ninguna de las interpretaciones ofrecidas hasta el momento es plenamente satisfactoria y convincente. Y así, tratando de poner de manifiesto un curioso efecto de electrodinámica cuántica hemos dado con un auténtico enigma.

Los primeros resultados obtenidos en el GSI, así como las principales hipótesis teóricas, fueron presentados y discutidos el pasado mes de junio durante la conferencia internacional sobre «Física de campos fuertes»[1] que reunió en Maratea, pueblecito del sur de Italia, a un centenar de físicos del mundo entero. Como veremos, el balance que cabe establecer ahora comporta todavía muchos interrogantes. El origen del fenómeno observado sigue siendo oscuro: es el «rompecabezas de los positrones» de Darmstadt.

Breve encuentro

El núcleo atómico más pesado que hoy conocen los físicos es el del «elemento 109». Hasta el presente, sólo ha podido ser observado un átomo de este elemento durante un experimento realizado en el GSI. Dotado de 109 protones y probablemente de 157 neutrones (masa atómica igual a 266), el elemento 109 parece marcar el límite más allá del cual ningún otro núcleo puede formarse. Pero pueden estudiarse sistemas más pesados durante el breve instante en que entran en contacto dos núcleos en caso de colisión. Así, mediante bombar-

deo de un blanco de uranio con un haz de iones uranio se logra yuxtaponer los dos núcleos durante 10^{-21} segundos. Se trata, sin duda, de un intervalo de tiempo notablemente pequeño; no obstante, basta para que se forme un «cuasiátomo», es decir, para que los electrones del proyectil y los del blanco se encuentren en el campo común de ambos núcleos. Hay una sola condición para lograrlo: la velocidad de los proyectiles tiene que alcanzar la décima parte de la luz, de tal manera que adquieran una energía suficiente para vencer la fuerza de la repulsión electrostática que se ejerce entre los dos núcleos. El laboratorio GSI es una de las pocas instituciones que disponen de un acelerador de iones pesados lo bastante potente para ello. En las colisiones uranio-uranio, los campos generados por la gran densidad de protones alcanzan unos valores fenomenales: 10^{19} voltios por centímetro para el campo eléctrico y 10^{-14} gauss para el campo magnético. Son éstas las condiciones en que, según la electrodinámica cuántica, se crean pares electrón-positrón de acuerdo con un escenario muy especial.

Como todos los pares partícula-antipartícula, el electrón y el positrón tienen exactamente la misma masa: 511 keV/c^2. Como que sus cargas son opuestas, hay que gastar una energía de 1.022 keV para crearlas por partes, de tal modo que sean respetadas las leyes de conservación fundamentales de la física (energía, carga, etc.). Pero en cuanto se franquea el umbral de energía, se observa esta creación en numerosas reacciones entre partículas elementales. En general, en los laboratorios de física de altas energías se realiza corrientemente la producción de pares partícula-antipartícula en el curso de colisiones, durante las cuales la energía cinética de los proyectiles se transforma en materia de acuerdo con la famosa ecuación de Einstein que expresa la equivalencia entre masa y energía.

El escenario que aquí nos interesa es distinto y mucho más sútil que todos los que se conocen hasta el momento. Recurre a las curiosas propiedades del vacío; según las teorías modernas de la física corpuscular, éste no está totalmente «vacío». Pues incluso en caso de eliminar toda forma de materia o de energía de una cierta región del espacio, aún subsistirían en ella infinitas partículas virtuales. De acuerdo con las relaciones de incertidumbre de la mecánica cuántica, tales partículas pueden crearse espontáneamente a partir del vacío y «existir» durante un período de tiempo lo bastante breve para no violar la conservación de la energía. Este tiempo directamente proporcional a la constante de Planck e inversamente proporcional a la fluctuación de energía. De ahí que a las partículas se las denomine virtuales: su «vida media» es muy corta, y sólo son observables sus efectos

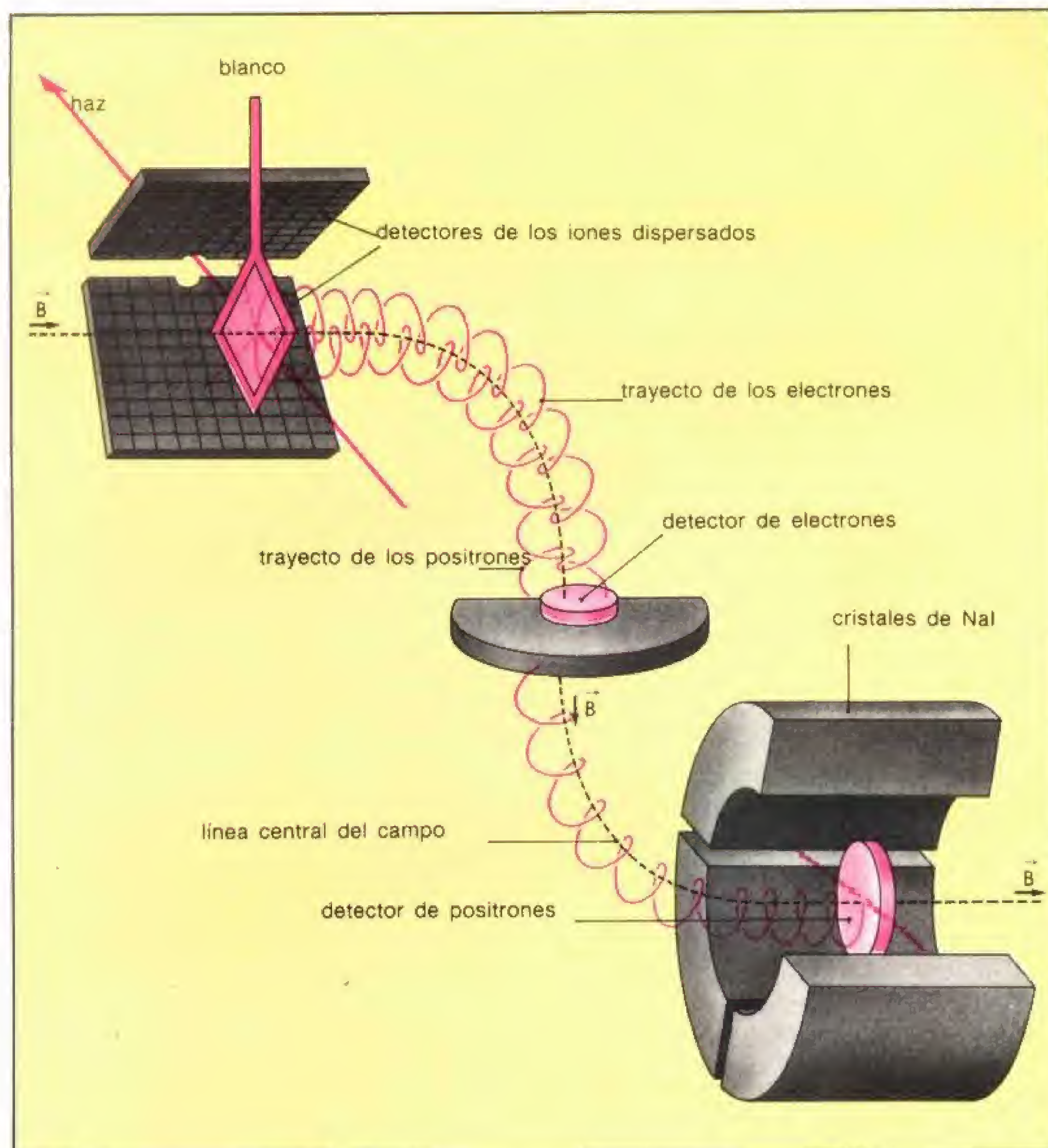


Figura 2. Para poner de manifiesto la producción de pares electrón-positrón «a partir del vacío» en presencia de un campo eléctrico intenso, el equipo dirigido por el profesor Egbert Kankeleit y por mí mismo utiliza el espectrómetro TORI, cuya configuración magnética permite detectar simultáneamente los electrones y los positrones producidos en el curso de las colisiones. Ambos tipos de partículas se mueven hacia sus respectivos detectores por efecto de un campo magnético solenoidal curvado en forma de S. En el caso de los positrones, se trata de un anillo de cristales de ioduro de sodio (NaI) que detecta los fotones emitidos por la aniquilación de los positrones en el detector semiconductor que hace el papel de blanco secundario. (Según B. Blank, Technische Hochschule, Darmstadt.)

indirectos. Pero pueden aparecer y desaparecer así incesantemente pares electrón–positrón, y de un modo casi instantáneo. Ahora bien, cuando este proceso, llamado «fluctuación del vacío», acaece en presencia de un campo eléctrico lo bastante fuerte, se asiste a una sorprendente modificación del escenario: ¡el electrón y el positrón surgidos del vacío no desaparecen! Al tener éstos una carga eléctrica opuesta, el campo puede separarlos apenas creados, impidiendo así su recombinación. Entonces, el electrón y el positrón pasan a ser partículas reales y, por tanto, observables.

Las primeras partículas creadas de esta curiosa manera que estudiamos en Darmstadt fueron los positrones. Los electrones están presentes en todas partes en tan gran cantidad que es más difícil identificar aquéllos que se producen a partir del vacío en presencia de un campo eléctrico fuerte. Pero el propio proceso de creación es bastante infrecuente: sólo se produce una vez en un intervalo comprendido entre diez mil y cien mil colisiones de iones pesados. La difícil tarea de los experimentadores consiste precisamente en identificar las «buenas colisiones», es decir, aquéllas en las que el positrón es emitido de acuerdo con el sorprendente escenario que hemos descrito.

En el laboratorio GSI han sido instalados con este fin tres grandes equipos experimentales. Todos ellos se basan en el mismo principio: «transportar» los positrones, con la ayuda de un campo magnético, desde su punto de creación (blanco) hasta un detector que sirve para medir su energía. Este, en efecto, tiene que estar lo bastante alejado del blanco como para no resultar perturbado por las demás partículas creadas durante las colisiones: los electrones y los fotones, que se producen en grandes cantidades. Uno de estos tres espectrómetros es el del grupo del profesor Kienle, director del laboratorio GSI.

(1) W. Greiner (ed.), *Physics of strong fields*, ASI series, Plenum Press, por publicar.

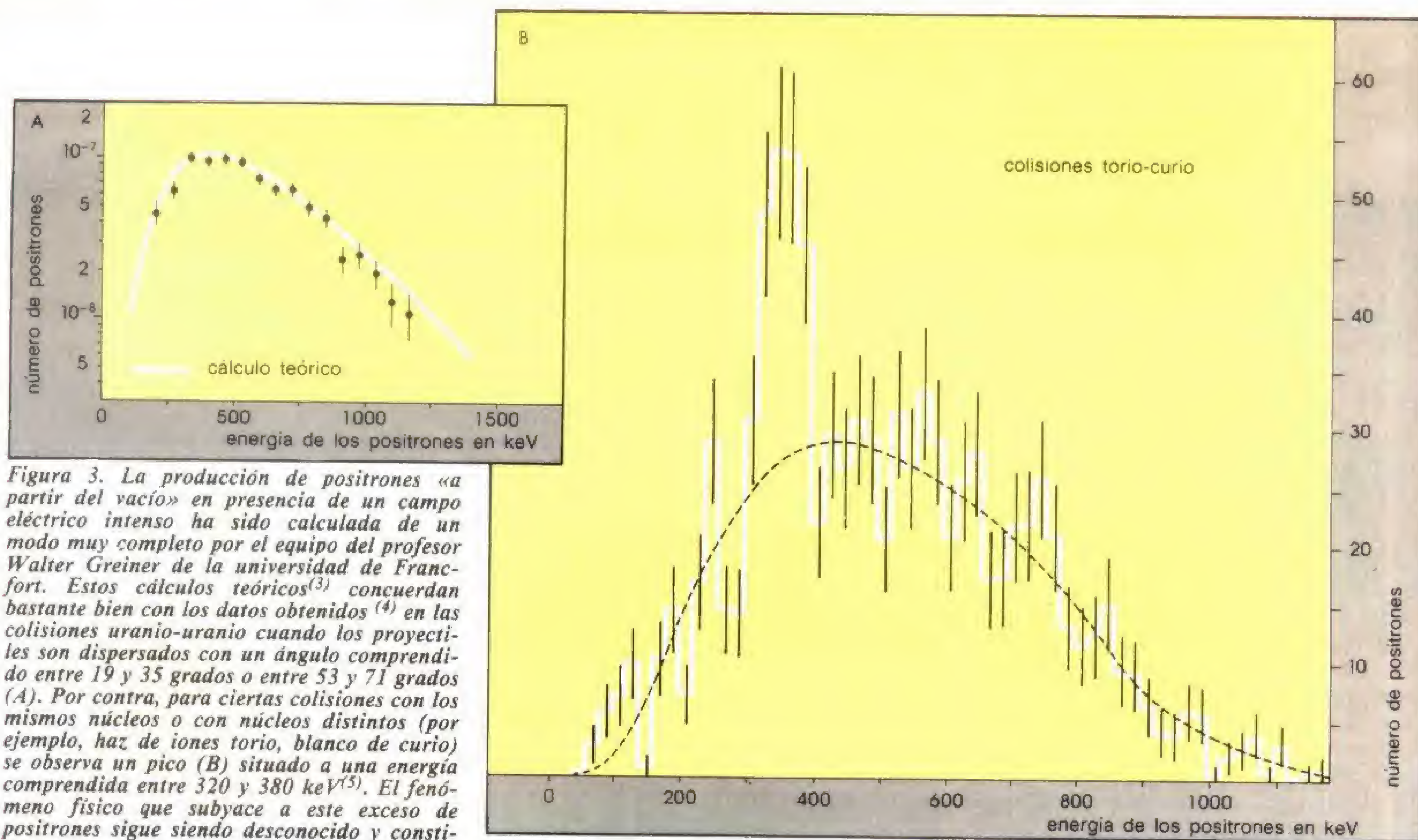


Figura 3. La producción de positrones «a partir del vacío» en presencia de un campo eléctrico intenso ha sido calculada de un modo muy completo por el equipo del profesor Walter Greiner de la universidad de Francfort. Estos cálculos teóricos[3] concuerdan bastante bien con los datos obtenidos [4] en las colisiones uranio-uranio cuando los proyectiles son dispersados con un ángulo comprendido entre 19 y 35 grados o entre 53 y 71 grados (A). Por contra, para ciertas colisiones con los mismos núcleos o con núcleos distintos (por ejemplo, haz de iones torio, blanco de curio) se observa un pico (B) situado a una energía comprendida entre 320 y 380 keV[5]. El fenómeno físico que subyace a este exceso de positrones sigue siendo desconocido y constituye un auténtico enigma.

Este espectrómetro se denomina ORANGE, pues la disposición de sus bobinas magnéticas evoca la de los gajos de una naranja (fig. 1). El segundo (llamado EPOS) es utilizado por el equipo que dirigen el doctor Helmut Bokemeyer, del laboratorio GSI, y el profesor Dack Greenberg, de la universidad de Yale. En EPOS, los positrones se mueven en espiral en el seno de un campo magnético homogéneo. Por último, el tercer espectrómetro (TORI) posee un campo solenoidal curvado en forma de «s» (fig. 2). Esta ingeniosa configuración permite que el equipo dirigido por el profesor Egbert Kankeleit y por mí mismo detecte simultáneamente electrones y positrones.[2]

¿Qué cabía encontrar?

Hay dos razones que inducen a pensar que la distribución energética de los positrones creados a partir del vacío debe ser continua. Ante todo, estos positrones son emitidos durante las distintas fases de colisión: aproximación, contacto y alejamiento. Por tanto, su energía varía de un modo continuo y no de un modo brusco. Además, toda la colisión cursa durante un tiempo muy corto, del orden de 10^{-21} segundos. Así pues –debido también a las relaciones de incertidumbre de la mecánica cuántica– la distribución energética de los positrones tiene que presentar una gran anchura. No puede ser pues, la energía bien definida del pico observado en el espectro de los positrones que nos interesan. La producción de positrones a partir del vacío ha sido calculado de modo muy completo por el profesor Walter Greiner de la Universidad de Francfort. Estos cálculos toman en consideración toda la dinámica de las colisiones, los distintos estados posibles de los electrones, etc. Concuerdan muy bien con los datos obtenidos en las colisiones uranio-uranio cuando los proyectiles son dispersados con un ángulo comprendido entre 19 y 35 o bien 53 y 71 grados (fig. 3A). Para ciertos ángulos de dispersión, sin embargo, el espectro energético de los positrones adopta un aspecto distinto: hacia 380 keV, se observa un estrecho pico superpuesto al fondo continuo (fig. 3B). ¿Cuál es el origen de este notable exceso de positrones?

Se dio al punto una primera interpretación[6] que introducía dos hipótesis. De una parte, los núcleos permanecerían «pegados» durante más tiempos del previsto, es decir, 10^{-9} segundos, por efecto de las fuerzas nucleares atractivas que se ejercen entre ellos. Ello bastaría para hacer frente el argumento del principio de incertidumbre que, como hemos visto, relaciona la vida media del fenómeno con la anchura energética del pico que traduce su existencia. Entonces, no quedaría más que explicar el valor de la energía observado: unos 380 keV. Es aquí donde interviene la segunda hipótesis. Es preciso que quede desocupado un estado electrónico de la capa K del cuasiátomo formado en la colisión. ¿Por qué la capa K? Porque es la más interna, aquélla en la que los electrones poseen la energía de enlace más elevada. Esta energía varía fuertemente con el campo eléctrico nuclear: para un núcleo de uranio, por ejemplo, ya es de 116 keV, un valor diez mil veces mayor que para el único electrón del átomo de hidrógeno. En el caso de los cuasiátomos, su valor rebasa los 1.022 keV, umbral de creación de un par electrón-positrón. Entonces, el cuasiátomo es «inestable» con respecto a esta producción de pares. Le resulta energéticamente más barato que un electrón venga a ocupar la plaza libre que mantener la órbita despoblada. Entonces «recupera» la energía de enlace, la mayor parte de la cual sirve para crear el par. El positrón, por su parte, escapa con la energía cinética que todavía queda disponible: unos 320 keV en las colisiones uranio-curio por ejemplo.

Esta muy espectacular interpretación permitió ante todo explicar los datos observados en Darmstadt. Pero si se modifica el número total Z de protones del proyectil y del blanco, la energía media de los positrones debe variar de un modo extremadamente rápido y fácil de poner de manifiesto. La emisión de positrones fue estudiada en función de Z por el equipo EPOS. Y en todas las combinaciones estudiadas, el pico se mantiene casi siempre tercamente en la misma energía.[5]

Hace poco, los mismos investigadores añadieron una nueva pieza al rompecabezas. Descubrieron que junto a los electrones del pico se emiten también electrones de igual energía.[7] Este descubrimiento llevó a pensar que en el origen del exceso de electrones observado podría haber una nueva partícula, que sería creada durante las colisiones entre núcleos pesados. Luego, se desintegraría en un electrón y un positrón, cada uno de los cuales –además de su energía de masa de 511 keV– se llevaría una energía cinética de unos 380 keV. De manera que la masa total de dicha partícula sería del orden de 1.800 keV. Este valor, sin embargo, plantea cierto número de problemas. En el marco de los modelos teóricos actuales, no existe ningún medio simple de albergar un intruso de masa tan pequeña. La única solución consiste en recurrir a argumentos muy especulativos, como los que llevan a ciertos físicos a postular la existencia de una nueva clase de partículas; los axiones. Hay que añadir que la partícula hipotéticamente observada

(2) E. Kankeleit *et. al. Nucl. Instr. and. Meth., A 234*, 81, 1985.
(3) B. Muller *et al., Z. Phys.*, 257, 62, 1927; J. Reinhardt *et al., Phys. Rev., A24*, 103, 1981.
(4) R. Krieg *et al., Phys. Rev.*, C14, 562, 1986.
(5) T. Cowan *et al., Phys. Rev. Lett., 54*, 1761, 1985.
(6) J. Reinhardt *et al., Z. Phys., A303*, 173, 1981.
(7) T. Cowan *et al., Phys. Rev. Lett., 56*, 444, 1986.
(8) J. Reinhardt *et al., Phys. Rev. C33*, 194, 1986.
(9) J. Schweppe *et al., Phys. Rev. Lett., 51*, 2261, 1983; M. Clemente *et al., Phys. Rev. Lett., B137*, 41, 1984; H. Tsertos *et al., Phys. Lett., B162*, 273, 1985.

en Darmstadt no podría ser un axión «estándar», es decir, exactamente poseedor de todas las propiedades predichas por los teóricos. Además, muchos de los investigadores siguen escépticos, ya que no acaba de comprender cómo se puede conciliar la producción de axiones, o de otras partículas exóticas de naturaleza desconocida, con los resultados negativos de los experimentos ya efectuados en distintos laboratorios.[8]

Experimentadores y teóricos pudieron confrontar sus puntos de vista durante la conferencia de Maratea (Italia) el pasado mes de junio. Fueron presentados allí todos los aspectos del rompecabezas. La existencia del Pico ha quedado bien establecida, ya que tres equipos distintos, con sistemas de instrumentos diferentes, atestiguaron claramente su existencia.[9] Pero la energía del pico no siempre es idéntica: varía entre 320 y 380 keV, lo cual hace todavía menos plausible la hipótesis de una nueva partícula. Pero ¿qué otra cosa podría ser? Las posibles interpretaciones no son muy numerosas. Es posible imaginar la formación de un sistema de varios electrones y positrones débilmente ligados. Se invocan también fenómenos de física del estado sólido, vinculados al estado de superficie de los blancos utilizados.

Por supuesto, se han estudiado explicaciones más triviales; pero han sido desechada unas tras otras. A mi juicio, la más difícil de descartar totalmente es la de que los pares electrón-positrón proceden de la materialización de los fotones de gran energía (rayos gamma) emitidos durante una transición nuclear. La materialización de un rayo gamma en un par electrón-positrón es un fenómeno efectivamente observable en todos los espectos de positrones medidos. En principio, también él presenta una distribución continua de energía, lo que por lo demás no deja de tenerse en cuenta en el análisis de los datos. Según los estudios específicos realizados, se excluye que un fotón emitido durante una transición nuclear esté directamente en el origen del pico de positrones. Pero durante las colisiones son arrancados unos treinta electrones del núcleo blanco y es muy difícil predecir con exactitud cómo puede influir en la materialización de estos fotones la redistribución de los electrones que subsisten.

De todas formas, lo prioritario es obtener más información; es preciso completar el rompecabezas para tener alguna posibilidad de comprender el fenómeno insólito que lo origina ¿Se está ante un efecto físico revolucionario o se logrará finalmente dar con una explicación más banal? Para resumir de un modo extremo la situación actual, cabría decir quer la explicación buscada podría ser digna lo mismo de ir directamente a la papelera que de conducir al premio Nobel...

Helmut Oeschler.

Los premios Nobel 1986

MEDICINA

PODIO DE HONOR LOS FACTORES DE CRECIMIENTO

Este año, los premios Nobel de Fisiología y de Medicina han llevado la atención hacia unas sustancias que durante mucho tiempo han sido misteriosas, los factores de crecimiento. Estas moléculas ejercen unos efectos importantes en el crecimiento y la diferenciación de tipos celulares precisos: el* Nerve Growth Factor *(NGF), descubierto en 1951 por Rita Levi-Montalcini, interviene en el desarrollo normal del sitema nervioso; el* Epidermal Growth Factor *(EGF), estudiado por Stanley Cohen a partir de 1960, ejerce sus efectos en otros tipos de tejidos. Después se han descrito muchos otros factores de crecimiento, específicos de tal o cual tejido. Todos son esenciales para un desarrollo normal. Desde 1984 se les ha atribuido un cometido suplementario: dañados por mutaciones, se vuelven anormales e intervienen en la cancerización. Los resultdos de R. Levi-Montalcini y de S. Cohen, que además han trabajado varios años juntos, han dado así una novísima dimensión a la Biología celular y a la Medicina.

Rita Levi-Montalcini y el descubrimiento de los factores de crecimiento nervioso

por Philippe Brachet

Desde sus primeras publicaciones en 1939, Rita Levi-Montalcini ha mostrado interés por el desarrollo del sistema nervioso. Ella misma cuenta que leyó por primera vez una publicación de Viktor Hamburger, un alumno del célebre embriólogo Hans Spemann, en 1940 en un vagón cargado de ganado, cuando se entablaron las hostilidades entre Francia e Italia. Durante los difíciles años de guerra trató de proseguir sin interrupción las investigaciones que realizaba por entonces en el embrión de pollo, en precarias condiciones: una habitación vulgar, con dos agujas de costurera por instrumental, afiladas con una piedra de amolar de grano y muy fino y que ella conservaba como un bien difícilmente remplazable.

En 1947, R. Levi-Montalcini pudo reunirse con V. Hamburger en Estados Unidos, en la universidad Washington de Saint-Louis, donde trabajó en torno al desarrollo de la médula espinal; luego V. Hamburger la incitó a proseguir los experimentos de E. Bueker, quien había procedido al trasplante de fragmentos de tumores diversos en embriones de pollo y había observado que uno de esos trasplantes rápidamente se había hecho invadir por unas fibras nerviosas sensoriales. Reproduciendo estos resultados, R. Levi-Montalcini comprobó unos efectos diferentes según la naturaleza de las fibras nerviosas. Para dar razón de sus observaciones propuso una explicación: el tejido tumoral produce un «factor de crecimiento nevioso», específico de células nerviosas bien definidas, las neuronas sensoriales y simpáticas. Nos encontramos a principios de los años 1950: por primera vez, los efectos mayores de «Nerve Growth Factor» eran claramente puestos de manifiesto. Toda la repercusión de la carrera de R. Levi-Montalcini deriva de ello.



Rita Levi-Montalcini (Foto Gamma.)

Con ocasión de una estancia en Brasil, en el laboratorio de C. Chagas, elabora el sistema de cultivo *in vitro* de ganglio nervioso, que ha acabado por ser la forma tradicional, con sus variantes, de poner de manifiesto los efectos biológicos del NGF o de sustancias con acciones comparables. De nuevo en Saint Louis, emprende entonces un trabajo con un talentudo bioquímico llegado recientemente al laboratorio, Stanley Cohen. Su objetivo: purificar el «Nerve Growth Promoting Factor». La tarea era ardua, pues la molécula neurotropa ejerce sus efectos en unas concentraciones muy bajas. Sin embargo, S. Cohen y R. Levi-Montalcini tuvieron la suerte de descubrir fortuitamente que los venenos de serpientes, que ellos utilizaban para caracterizar la naturaleza bioquímica del NGF, presentaban realmente una actividad neurotropa considerable. Más adelante, S. Cohen identificaba otra fuente de NGF, la glándula submaxilar del ratón macho. Aunque la razón de la abundancia del NGF en estos órganos sigue siendo misteriosa, baste que S. Cohen la ha aprovechado para purificar el factor, haciendo posible un análisis fisiológico con una molécula limpia y correctamente caracterizada. A partir de la molécula purificada, R. Levi-Montalcini y S. Cohen prepararon anticuerpos para inmunizar animales, y mostraron que su inyección en ratones provocaba la muerte de la mayoría de las neuronas simpáticas. Más tarde, mientras S. Cohen se interesaba por otros problemas, R. Levi-Montalcini extendió este tipo de experimento a los animales en su vida fetal. En este caso, la inyección de anticuerpos anti-NGF acarreaba no sólo la muerte de las neuronas simpáticas, sino incluso una marcada disminución del número de las sensoriales.

Este conjunto de resultados ha demostrado que la producción de NGF no es patrimonio de ningún tejido canceroso dado. El NGF endógeno desempeña un cometido crítico en el desarrollo del sistema nervioso simpático y sensorial. Después, un considerable trabajo experimental, efectuado tanto *in vitro* como *in vivo* en numerosos laboratorios, contribuye sin cesar a describir los efectos

del NGF en la supervivencia y la diferenciación de las células nerviosas simpáticas y sensoriales, investigaciones directamente inspiradas en los importantes descubrimientos de R. Levi-Montalcini; la cosecha de resultados ha contribuido considerablemente a aumentar nuestro conocimiento de la célula nerviosa.

Hoy, las investigaciones acerca del NGF evolucionan de forma rápida. El gen del factor ha sido caracterizado en el ratón, en el hombre y en el pollo, en tanto que se acumulan informaciones relativas a la regulación de su expresión.

Dosimetrías sensibles y fiables permiten cuantificar el factor y establecer correlaciones entre la capacidad de un tejido de producirlo y la densidad de la inervación simpática o sensorial.

Son muchos los grupos hoy dedicados a identificar y precisar los receptores epscíficos del NGF localizados en la membrana de las células sensibles; por otra parte, éste ha sido encontrado en el sistema nervioso central. Varios argumentos permiten pensar que el NGF ejerce ahí su efecto sobre algunas neuronas colinérgicas procedentes de las regiones basales, inervando el hipocampo o el córtex. El NGF se convierte, pues, en un serio candidato susceptible de intervenir en el desarrollo y el mantenimiento en función de conjuntos neuronales centrales. De manera general, la implicación del factor en patologías degenerativas del sistema nervioso merece un examen detallado. Precisemos que, en nuestros días, un número creciente de argumentos subrayan la existencia de otros factores neurotropos, además del NGF, producidos por tipos celulares diferentes y activos sobre neuronas distintas.

El incansable trabajo precursor de R. Levi-Montalcini ha influido en la actividad intelectual de numerosos neurobiólogos. Era justo que esta vida ejemplar se viera honrada con la concesión de un premio Nobel de medicina y de fisiología. Es dudoso que esta recompensa tan codiciada incite a R. Levi-Montalcini a poner término a su larga vida de investigadora. Si su carrera científica se ha desenvuelto durante unos veinte años en Estados Unidos, nunca ha dejado de impulsar a investigadores en Italia, de sentirse muy allegada a su país de origen y de haber acudido a él para dirigir un laboratorio en Roma, a su jubilación. Últimamente trabajaba en la diferenciación del sistema nervioso central del embrión de batracio, sin dejar de proseguir sus estudios acerca de la probable acción del factor a nivel de células del sistema inmunitario, los mastocitos. Por consiguiente, garantizamos que cualquiera que pase por el laboratorio de biología celular de la calle Romagnosi de Roma tendrá siempre el placer de avistar la ágil silueta de su directora. ■


Stanley Cohen (Foto SIPA)

Stanley Cohen y el descubrimiento del factor de crecimiento epidérmico

por Yves Courtois

1961-1986; veinticinco años de sucesivos descubrimientos por un hombre solo o con un reducido equipo, en Nashville, Tennessee (Estados Unidos), para finalmente conocer la celebridad pública con el premio Nobel. Sin embargo, esa notoriedad ya era enorme entre los biólogos celulares, porque Stanley Cohen descubrió no sólo una molécula nueva en 1961, el «Epidermal Growth Factor» (EGF), o factor de crecimiento de la epidermis, sino porque abrió una nueva vía a la investigación: la de las señales que transmiten mensajes entre células, entre tejidos o entre órganos para permitirles desarrollarse armoniosamente, renovarse y recuperarse en el transcurso de toda la vida. En ocasiones, parecen participar también en la anarquía de la proliferación que caracteriza a los cánceres.

El origen del descubrimiento de esta pequeña proteína es muy sorprendente. En 1961, S. Cohen trabaja con R. Levi-Montalcini en la purificación del «Nerve Growth Factor» a partir de la glándula submaxilar de ratón macho adulto. Inyectando cada día un extracto de esta glándula en unos ratones recién nacidos, advirtió que sus párpados se abrían antes, que sus incisivos salían más rápidamente, que su crecimiento se detenía y que perdían pelo. Todos estos efectos biológicos eran debidos a una proteína estable, más tarde denominada EGF. Así pues, fue a la vez su curiosidad científica y la suerte que tuvo de utilizar un extracto de la glándula submaxilar de ratón macho (contiene una enorme cantidad de EGF, mientras que la misma glándula de ratón hembra contiene cien veces menos) las que condujeron a S. Cohen a descubrir y luego a aislar el EGF. Éste fue purificado, su estructura determinada, y estudiadas su distribución en los diferentes tejidos y, sobre todo, su actividad. Inmediatamente se advirtió que el EGF era capaz de estimular la proliferación *in vitro* de un enorme número de células de origen y de especie diferentes. Cuando su secuencia de aminoácidos hubo sido determinada, en 1975, un investigador inglés, H. Gregory, la comparó con la de la urogastrona que él acababa de purificar, una hormona humana capaz de controlar la secreción de ácido gástrico. Muy pronto se reveló que ésta no era sino la forma humana del EGF. Era posible entonces lograr unos anticuerpos para cuantificar por medio de métodos inmunológicos la concentración de EGF en los tejidos y fluidos circulantes. La analogía con la urogastrona ha impulsado numerosas investigaciones acerca de su mecanismo de acción *in vivo*. Para ello, era necesario producirla en cantidad, lo cual resultaba posible bien sacrificando muchos ratones machos bien tratando unos cuantos litros de orina, o mejor aún, ahora utilizando las técnicas de la biología molecular y de la ingeniería genética. H. Gregory demostraba recientemente que una inyección de 1 mg/kg de EGF en el perro detiene en menos de un minuto la secreción de ácido gástrico. Es un efecto tan rápido que no se puede atribuir a una acción sobre la proliferación de las células intestinales. Repetidos en el hombre, estos experimentos han surtido efectos similares; de ahí, la idea de utilizar el EGF para tratar ciertas patologías gástricas.

Otra importantísima propiedad del EGF es que acelera la velocidad de cicatrización de la piel, de la córnea y del intestino. En la oftalmología aplica-

Yves Courtois es director de investigación en el INSERM. Dirige un equipo INSERM-CNRS. Sus investigaciones tratan del envejecimiento y los factores de crecimiento.

da al hombre, algunos ensayos clínicos ya han mostrado su eficacia en las úlceras de córnea. En otro campo bien distinto, S. Cohen había observado al principio de sus investigaciones que la inyección del EGF en ratones acarreaba la pérdida del pelo. En 1981, los australianos demostraban que esta propiedad podía aplicarse para pelar el carnero a mano, tan frágil era ya la raíz del pelo por la inyección previa de EGF.

Estos efectos del EGF son desde luego espectaculares y potencialmente interesantes, en especial para los industriales. Sin embargo, no son éstas las razones esenciales que han llevado a conceder el premio Nobel a S. Cohen, sino más bien el concepto mismo del factor de crecimiento que él desarrolla. El EGF y otras muchas proteínas del mismo tipo descubiertas después («transofrming growth factors», «fibroblast growth factors», «platelet derived growth factor», etc.) participan en procesos fundamentales de biología celular por su acción especialmente en la división de las células. Cuando llegan a las células objetivo, estos factores se fijan en su superficie sobre unos receptores membranales. Desde 1982, S. Cohen y G. Carpenter establecieron que había un receptor específico del EGF en numerosas células. Este receptor penetra en la células con el EGF que ha fijado, y entonces es transmitido el mensaje, luego amplificado para finalmente dar la orden, por ejemplo, a la célula, de dividirse activando la síntesis del ADN. J. Schlessinger, en Israel, demostraba entonces que sólo la activación del receptor era importante. De nuevo S. Cohen mostraba que la primera respuesta de la célula objetivo a la fijación de EGF en su receptor es una fosforilación específica sobre una tirosina, un mecanismo común a otros receptores de factores de crecimiento. Mes tras mes, los descubrimientos se acumulan; diversos equipos, entre ellos, el de X. Waterfield y W. Doword (en 1984) aislaban este receptor y mostraban que su estructura era muy homóloga a la de una proteína codificada por un gen vírico de cáncer (el V-erb). Este descubrimiento tuvo una resonancia considerable: subrayaba que una de las vías principales de la activación de una célula pasaba por la acción de un factor de crecimiento, que, al fijarse sobre un receptor celular específico desencadenaba las señales intracelulares; ahora bien, el gen V-erb, al imitar la estructura normal del receptor, hacía perder a la célula su control normal, volviéndola entonces cancerosa.

Después se han encontrado algunas situaciones análogas, por ejemplo, al poner de manifiesto proteínas que tienen una estructura próxima al EGF, como los «transforming growth factors» (o factores de transformación celular, emitidos por unas células tumorales, pero también presentes en el embrión o en las plaquetas sanguíneas); o incluso con el descubrimiento de proteínas sintetizadas por unos virus, como el de la vacuna, que van a fijarse sobre el receptor EGF normal de la célula; por último, también se han descubierto unos genes anormales de receptores en consecuencia mal regulados, en numerosos tumores.

Vemos, pues, que el concepto del factor de crecimiento ha rebasado realmente los primeros experimentos de inyección de extracto de glándulas salivales en ratoncillos. Como es natural, estos fenómenos de regulación a nivel del receptor o de la producción de factores de crecimiento, que no están limitados a las células cancerosas, se encuentran en algunos órganos, como el cerebro, en el transcurso de la emibrogénesis. A la familia de los factores de crecimiento se añade ahora la de los factores inhibidores: el yin y yang de la célula.

Estos sucesivos descubrimientos no han dejado de tener impacto en biología celular y molecular y permiten esperar que las posibles aplicaciones terapéuticas futuras, como el tratamiento de las llagas o la protección del sistema digestivo, se vean seguidas de algunos adelantos que permitan, por ejemplo, tratar específicamente determinados tumores por recuperación del control de las etapas que se han alterado. ■

QUÍMICA

EN EL CORAZÓN MISMO DE LAS REACCIONES QUÍMICAS

por Jean Durup



El premio Nobel de Química 1986 ha sido concedido a tres precursores de una disciplina muy poco conocida de la Química: la dinámica reaccional. Dudley R. Herschbach (foto de la izquierda) Yuan T. Lee y John C. Polanyi (a la derecha) han sido recompensados por su contribución fundamental al conocimiento de los procesos elementales de las reacciones químicas. (Fotos A, Gamma; B, AFP.)



La Academia Sueca ha resuelto honrar este año a las mayores figuras de la dinámica reaccional, disciplina que se sitúa por delante de toda la química y cuyo tema de estudio es el *acto reactivo elemental*, es decir, lo que ocurre cuando dos moléculas (o un átomo y una molécula) se encuentran, reaccionan y se separan en forma de dos especies nuevas. Dudley Robert Herschbach, profesor en la universidad Harvard, John Charles Polanyi, profesor en la universidad de Toronto y Yuan Tseh Lee, profesor en la universidad de California de Berkeley, son en efecto los precursores –y todavía figuras dominantes– de un campo extremadamente rico y variado, donde son planteados y resueltos los problemas esenciales en la comprensión de la reacción química.

La idea directriz de los experimentos realizados por Dudley R. Herschbach y sus colaboradores a Berkeley en 1961 fue preparar las especies moleculares que reaccionan (átomos, iones, molécu-

las, radicales, libres, complejos, agregados moleculares....) en forma de *haces moleculares*, haces de partículas que se propagan en el vacío en línea recta como unos rayos luminosos. Así, cuando dos de tales haces se cruzan, pueden observarse unos acontecimientos en que no participan más que unas parejas de partículas aisladas de cualquier entorno. El arte desarrollado desde entonces por Dudley R. Herschbach, así como a partir de 1968 por Yuan T. Lee (su discípulo de tesis en Harvard), consistió en refinar los medios de selección del estado de las especies «reaccionantes» y los medios de análisis del estado de las especies producidas por la reacción. La cosecha de datos así obtenida ha permitido unos progresos decisivos en la comprensión de los mecanismos elementales de las reacciones químicas, y ello pese a que la complejidad de los aparatos concebidos para esta investigación nunca ha excluido una cierta rusticidad: en la universidad de Harvard, Dudley R. Herschbach ¡algunas veces utilizó un inyector de Mercedes como válvula rápida para producir haces moleculares pulsados! Pero durante estos veinte años de crecimiento de la dinámica reaccional, los desafíos al ingenio y tenacidad de los químicos han estado a la altura de lo que estaba en juego: velocidades relativas de las partículas incidentes y de las partículas emergentes, orientación preferencial de los reactivos, ángulo de separación de los productos en relación a la dirección de encuentro, alineaciones eventuales del eje de rotación y de las moléculas producidas, niveles de la energía de rotación y de vibración de las moléculas, estados electrónicos y componentes de estructura fina de los reactivos y de los productos han sido así seleccionados y/o analizados para un número considerable de reacciones entre ántomos, iones o moléculas.

El itinerario de John Polanyi fue sensiblemente diferente e influido sin ninguna duda por una ilustre filiación. Su


Yuan T. Lee (Foto Sygma)

padre, Michael Polanyi, participó en los trabajos que permitieron formular a Henry Eyring en 1935 la teoría de las velocidades de reacción, llamada «teoría del estado de transición» y desde entonces aceptada y utilizada universalmente. Esta teoría se, basa en los conceptos de la termodinámica estadística, aplicados a este estado fugaz de la reacción química que se sitúa en la cúspide de la barrera de energía que los reactivos deben superar para que la reacción se efectúe. John C. Polanyi se ha dedicado desde 1958 a la determinación y a la evolución de las características energéticas (primero de vibraciones, luego de rotaciones), de los reactivos y de los productos utilizando la espectrometría infrarroja. De este vasto conjunto de experiencias –las primeras, en torno a la reacción entre H y Cl_2 y cuyo primer fruto fue el descubrimiento en 1969 por George Pimentel del primer láser químico–, John C. Polanyi ha fijado una serie de reglas que representan unas prescripciones o, como festivamente él mismo dice, unas «moralejas» sobre la mejor manera de realizar tal o cual reacción según las características de su estado de transición. En fin, John C. Polanyi y sus colegas fueron los primeros, en 1980, en observar directamente y en caracterizar espectroscópicamente el estado de transición de una reacción química. Después de esta fecha, se ha dedicado al puro estudio y a la comprensión del fenómeno de catálisis heterogénea, fenómeno por el cual una reacción química puede ser considerablemente acelerada si tiene lugar en la superficie de un sólido adecuado.

Los trabajos de Dudley R. Herschbach atienden igualmente a las privilegiadas interacciones que se dan en el seno de los complejos de van der Waals, complejos de partículas débilmente ligadas entre sí. Por otra parte, Yuan T. Lee ha contribuido a desarrollar el estudio de las reacciones unimoleculares, en las cuales una especie excitada se disocia en fragmentos de naturaleza varia, a su vez diversamente excitados o ionizados. Uno de los mayores retos del estudio de la química de estos estados altamente excitados estriba en permitir una fotoquímica selectiva, donde la elección de la unión que romper no dependerá sólo de las diferencias de energía que controlan toda la evolución puramente estadística, sino que podría ser guiada a voluntad por la preparación del estado excitado. Y últimamente, en abril de 1986, Yuan T. Lee y sus colegas consiguieron un primer ejemplo de ello en la fotodisociación de CH_2BrI.

Citaría, por último, un ejemplo de la curiosidad científica que anima que a un gran investigador que tiene ya una larga carrera tras de sí, muestra sorprendente ya que los trabajos más recientes de Duddley R. Herschbach se basan en la aplicación a la estructura electrónica del átomo de una teoría nacida de la física de las partículas subelementales.

Este año, el premio Nobel de química honra, pues, a unos investigdores que han creado una nueva rama de investigación y que han contribuido –y contribuyen aún– a acercar conceptualmente a químicos y a físicos. ■

Jean Durup, profesor de la universidad Paul Sabatier de Toulouse, fue el autor a fines de los años 1960 de los primeros trabajos franceses en dinámica reaccional y sigue investigando acerca de las colisiones moleculares y la fotodisociación de los iones por medio del láser.

FÍSICA

DOS ASPECTOS DE LA MICROSCOPIA ELECTRÓNICA

por Frank Salvan

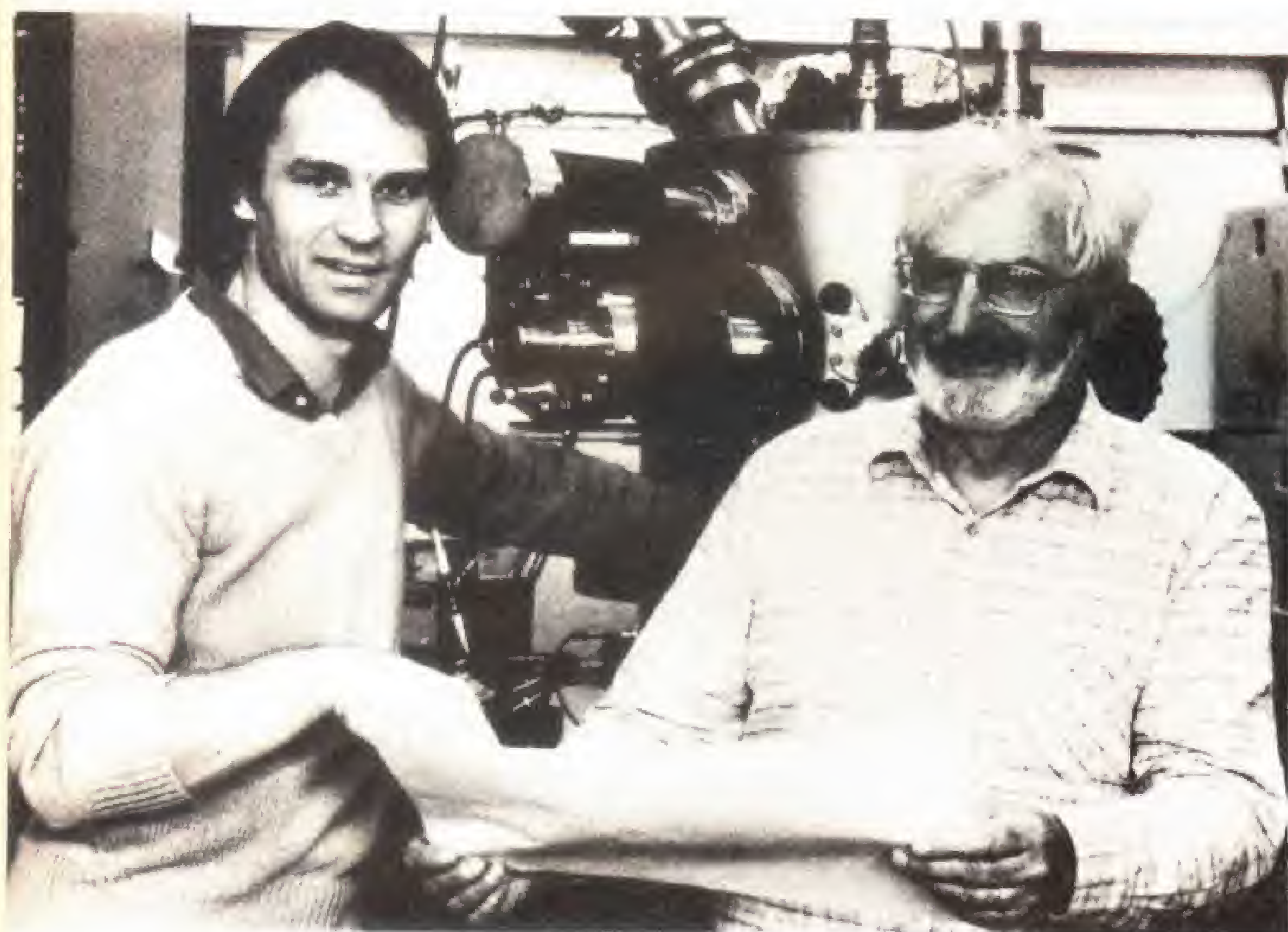
La Academia real de Suecia acaba de conceder el premio Nobel de física, por una parte, a Ernst Ruska, uno de los padres del primer microscopio electrónico, y por otra, a Gerd Binning y Heinrich Rohrer por el desarrollo de un microscopio de barrido utilizando el efecto túnel de los electrones. Estos premios recompensan unos trabajos que, con cincuenta años de intervalo, han explotado dos aspectos diferentes de las propiedades ondulatorias de los electrones para fines de microscopía.

Fue efectivamente en 1932 cuando Ernst Ruska, entonces ingeniero electrónico en la universidad técnica de Berlín, construyó el primer microscopio electrónico de laboratorio utilizando unas lentes electromagnéticas.

Para ello explota la idea de que un campo magnético inhomogéneo de simetría cilíndrica constituye, para un haz de electrones, una lente análoga a las lentes de cristal utilizadas en un microscopio óptico.

En un microscopio, el límite de resolución es prácticamente igual a la longitud de onda de la radiación utilizada (del orden de 0,5 micras para la radia-

Frank Salvan es profesor de la facultad de ciencias de Luminy en la universidad de Marsella (1). Con Alain Humbert, encargado de investigaciones del CNRS, dirige un grupo en microscopia de efecto túnel.



El premio Nobel de Física ha sido otorgado este año a unos investigadores que, con cincuenta años de intervalo, han explotado dos aspectos diferentes de las propiedades ondulatorias de los electrones con fines de microscopía. Ernst Ruska construyó, en 1932, el primer microscopio electrónico de laboratorio. Gerd Binnig y Heinrich Rohrer (al lado) crearon en 1982 el primer microscopio de barrido utilizando el efecto túnel de los electrones en el vacío.

ción visible). La utilización de longitudes de onda cada vez más cortas puede reducir este límite de resolución inherente a la difracción, a unos valores extremadamente bajos para unos electrones de alta energía. Un electrón acelerado bajo 200 000 electrón-voltios (tensión de aceleración de 200 kV) tiene una longitud de onda asociada igual a 0,025 amgström, pues otros factores limitan entonces la resolución. Estos electrones son muy penetrantes y dan magníficas imágenes de la proyección de hileras de átomos de una muestra cristalina.

Los trabajos de E. Ruska permiten, en 1939, la comercialización por Siemens A.G. del primer microscopio electrónico con una resolución de 85 angströms. Los continuos progresos técnicos han permitido llegar últimamente a resoluciones atómicas.

El microscopio realizado en los laboratorios IBM de Zurich por Gerd Binning y Heinrich Rohrer en 1982 utiliza el efecto túnel de los electrones en el vacío. Este efecto puramente cuántico está ligado a la naturaleza ondulatoria de los electrones. El éxito de ambos laureados demuestra la sorprendente juventud de ese viejo concepto del efecto túnel, cuyas otras aplicaciones ya han sido conronadas con un premio Nobel en 1973 (Leo Esaki, Ivar Giaver y Brian David Josephson).

Este microscopio es una sonda local de resolución muy alta que permite convertir en imágenes unas topografías superficiales de muestras, con una resolución lateral que llega ahora al angström y una resolución perpendicular a la superficie inferior a 0,01 angström, lo cual permite determinar el relieve de una superficie con una precisión inigualada (véase «El microscopio de efecto túnel» en nuestro número de diciembre 1986).

Estas prestaciones, las posibilidades de utilización en el vacío, a muy baja temperatura en medio líquido, la consecución de la espectroscopia local de alta resolución, son explotadas por una comunidad científica que reagrupa a fisicoquimicos de superficies, físicos fundamentales o aplicados, biólogos...

Los deslumbrantes resultados obtenidos desde 1982 me incitaron a ponerme en contacto con G. Binnig y H. Rohrer. En el transcruso de una colaboración regular ha podido apreciar las inmensas cualidades científicas y humanas de estos grandes investigadores que, además, son hombres de buen humor. Al término de esa colaboración se nos ofreció construir un microscopio de efecto túnel en nuestro laboratorio de investigaciones en Luminy, donde se ha constituido un grupo de microscopia por efecto túnel, dirigido por Alain Humbert y yo mismo. ¡Os podéis imaginar la alegría y la emoción de todos nosotros al anunciarse el éxito de nuestros amigos! ■

Desde 1982, el premio Crafoord, creado por la pareja sueca de mecenas Anna-Greta y Holger Crafoord, es concedido todos los años a científicos de alto nivel en unas disciplinas que no figuran como tales en los premios Nobel: matemáticas, ciencias de la Tierra, ciencias biológicas y astronomía. Este año, el honor ha recaído en las ciencias de la Tierra; en efecto, el premio Crafoord 1986 ha sido concedido por la Academia Real de Ciencias de Suecia y fue entregado el 24 de setiembre por el rey Carlos XVI de Suecia en Estocolmo a los profesores Claude J. Allègre, de la universidad de París VI, y Gerald J. Wasserburg, del California Institute of Technology en Pasadena, por sus trabajos precursores en el campo de la geología isotópica.

La geología isotópica, que ha logrado imponerse en veinte años, ocupa hoy una posición privilegiada entre las ciencias de la Tierra. Permite datar los diferentes fenómenos geológicos, y de este modo trazar de nuevo la historia de nuestro planeta y del sistema solar. Los trabajos de Claude J. Allègre han permitido, gracias al análisis de los isótopos radiogénicos y de los microelementos en las muestras de rocas, comprender mejor cómo funciona esta gigantesca «fábrica química» que es la Tierra. En particular, al desarrollar nuevos marcadores isotópicos como el samario, el neodimio o los gases raros, C.J. Allègre y su equipo han elaborado unos modelos que describen de nuevo la evolución del manto terrestre y la formación de la corteza continental. Igualmente ha propuesto diferentes modelos para explicar ciertos procesos geoquímicos en los campos del vulcanismo, de la evolución de la atmósfera terrestre y de la formación de nuestro planeta. Gerald Wasserburg es más conocido por sus trabajos acerca de los orígenes y la historia del sistema solar. Ha reconstituido una cronología del desarrollo del sistema solar que va desde el fin del proceso de nucleosíntesis hasta la formación de cuerpos sólidos tal es como los planetas, las lunas y los meteoritos hace aproximadamente 4,5 mil millones de años. Él es quien ha probado, entre otros, la existencia en el sistema solar del isótopo radiactivo ^{26}Al de duración relativamente corta, procedente probablemente de una estrella supernova cercana a la nebulosa solar y que habría explotado poco tiempo antes del principio de la formación de nuestros planetas. Igualmente, ha contribuido con largueza al estudio de los materiales lunares recogidos en el transcurso de las misiones Apolo y al desarrollo del programa americano de investigación espacial.



El 24 de setiembre de 1986, el rey Carlos XVI de Suecia (a la derecha en la foto) entregaba en Estocolmo el premio Crafoord a Claude J. Allègre (a la izquierda) y a Gerald J. Wasserburg (en el centro). (Foto Ulf Blumemberg, Svensk Reportagetjänst AB.)

En 1965, Claude J. Allègre, que preparaba su tesis de doctorado, obtuvo una beca para ir a estudiar las modernas técnicas de análisis isotópico de muestras geológicas en el laboratorio de un joven profesor del California Institute of Technology en Pasadena. ¡Este joven profesor era Gerald Wassenburg! Hoy, tras veinte años de colaboración, los dos hombres se encuentran de nuevo para compartir el equivalente del Nobel para las ciencias de la Tierra. Esta distinción concreta la mutación que conoce la disciplina estos últimos años con el advenimiento de la tectónica de las placas, de la planetología y de la eclosión de los métodos fisicoquímicos aplicados a la geología. Para las ciencias de la Tierra, definitivamente se ha pasado una página.

OBRAS QUE DEJARON CONSTANCIA DE LAS GRANDES POLEMICAS CIENTIFICAS

CLASICOS QUE MARCARON UN HITO EN EL DESARROLLO DE LA CIENCIA Y DE LA TECNICA



Títulos publicados: *Ediciones facsímiles*

Charles M. de la Condamine
VIAJE A LA AMÉRICA MERIDIONAL POR EL RÍO DE LAS AMAZONAS y ESTUDIO SOBRE LA QUINA
El primer estudio científico europeo del Amazonas sin propósitos misioneros ni coloniales. *Presentación de Antonio Lafuente y Eduardo Estrella.*
P.V.P. 1.250 ptas.

●

Blas Cabrera
PRINCIPIO DE RELATIVIDAD
Una de las mejores y más completas presentaciones de carácter general en el campo de la relatividad. *Presentación de José Manuel Sánchez Ron.*
P.V.P. 1.450 ptas.

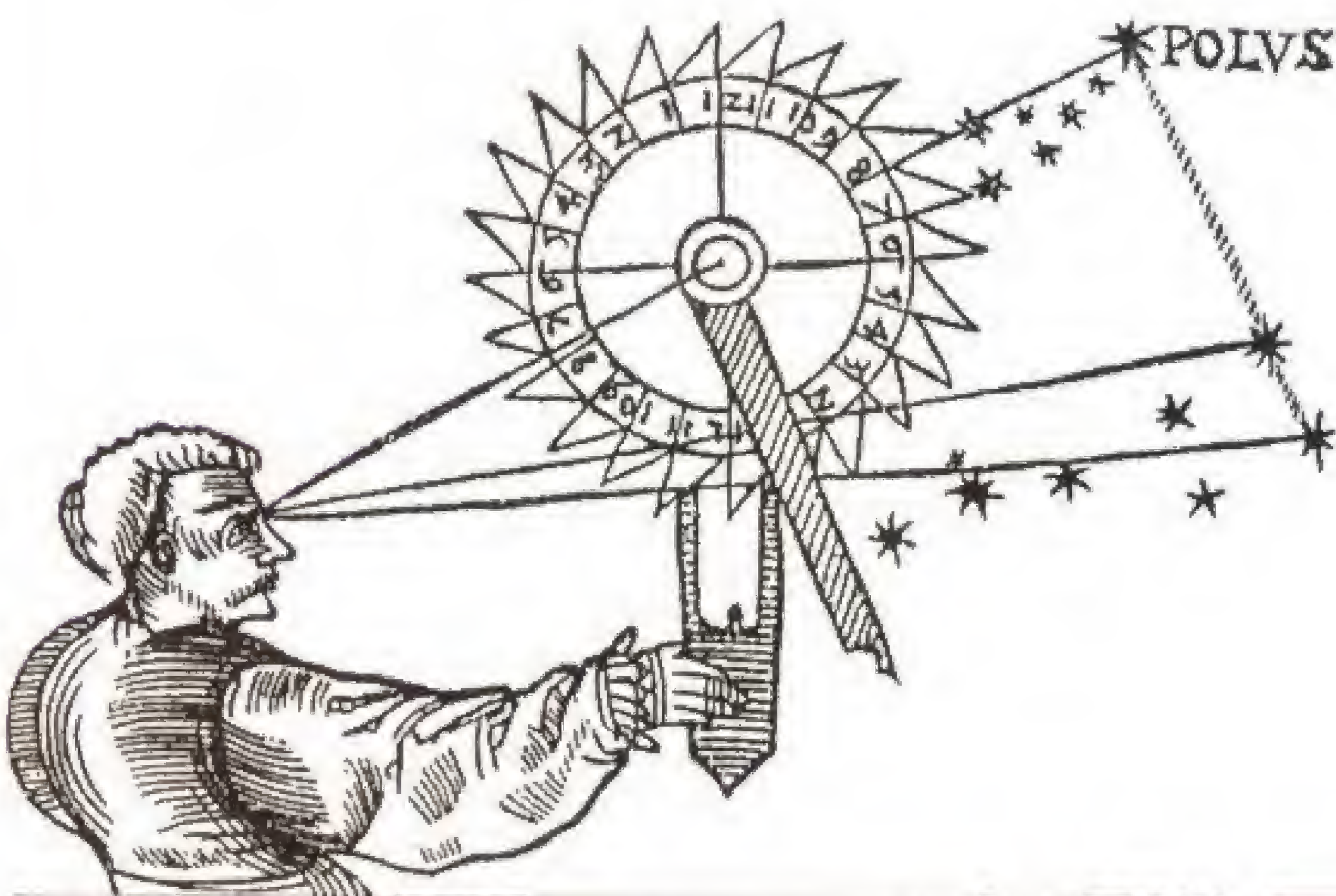
Jean Baptiste de Monet (Lamarck)
FILOSOFÍA ZOOLÓGICA
La primera formulación de una teoría positiva de la evolución de los seres vivos. *Presentación de Adrià Casinos.*
P.V.P. 1.350 ptas.

●

José Comas Solà
EL ESPIRITISMO ANTE LA CIENCIA
El eco del apasionante debate internacional sobre la mediumnidad. *Presentación de Antoni Roca.*
P.V.P. 1.000 ptas.

●

Hipócrates
AFORISMOS
Una obra que permanecerá siempre por la frescura de sus observaciones todavía a veces válidas y por todo el saber que nos legó sobre la naturaleza. *Presentación de José Luis Peset.*
P.V.P. 1.250 ptas.



Una colaboración de:

MUNDO CIENTIFICO
Editorial Fontalba, s.a.
Valencia 359, 6º
08009 Barcelona

y Editorial Alta Fulla

PIDALO A SU LIBRERO O CONTRAREEMBOLSO

COLECCION «NOCTULABIUM»

Los asteroides

por Christiane Froeschlé
y Claude Froeschlé

Los asteroides, microplanetas de algunos kilómetros de diámetro que orbitan alrededor del Sol, han sido menospreciados por los astrónomos durante mucho tiempo. Sin embargo, quizá contienen la clave del origen de los planetas y de la historia del sistema solar. Al estudiar sus órbitas, los especialistas en dinámica se han encontrado con problemas que requieren la introducción de técnicas de análisis, teórico o numérico muy complejas. Hoy su estudio constituye una disciplina en plena efervescencia que augura una mejor comprensión del sistema solar en los próximos años.



Los asteroides –astros minúsculos que pululan en el sistema solar son todavía poco conocidos. De pequeño tamaño, alejados de la Tierra, difíciles de observar, poco han atraído hasta ahora la atención de los astrónomos. Sin embargo, esta situación está cambiando: acaba de decidirse que la sonda Galileo ideada para estudiar Júpiter y sus satélites (que tiene que ser lanzada por la lanzadera espacial) será desviada de su trayectoria hacia el asteroide 29 Anfitrita. El proyecto francosoviético «Marte-Fobos», previsto para 1989, tiene también como objetivo la exploración de un asteroide entre Marte y Júpiter. Finalmente, otro proyecto francosoviétivo prevé el lanzamiento de una sonda, en 1991, que visitará primero Venus y luego los asteroides y los cometas.

Christiane y **Claude Froeschlé** son astrónomos del Observatorio de Niza. Estudian la evolución dinámica del sistema solar y más especialmente la de los asteroides y los cometas.

En efecto, los astrónomos han comprendido que estos objetivos merecían su atención. De una parte, al darse cuenta de que algunos de ellos, después de haber sido desviados de sus órbitas, pueden llegar hasta la Tierra y provocar las lluvias de meteoritos que nos bombardean. Y también, de que los asteroides de gran tamaño (del orden de un kilómetro), podrían haber provocado con sus impactos los enormes cráteres observados en la Tierra, La Luna, Mercurio y Venus, y quizás incluso provocado la extinción de los dinosaurios.

Pero los asteroides presentan también un interés más sutil. Se formaron sin duda al mismo tiempo que los planetas, pero luego evolucionaron de manera distinta. Sin duda son muestras de la materia primordial del sistema solar, sobrevivientes de la miríada de pequeños objetos a partir de los que se formaron los planetas. Al igual que, para el historiador, los estudios arqueológicos son capitales para captar la evolución de la humanidad, para el astrónomo es esencial comprender la naturaleza de los asteroides para poder construir una imagen satisfactoria de la formación de los planetas.

¿Son los asteroides fragmentos de un planeta destruido o, por el contrario, son los bloques de un objeto nunca formado? Tanto en un caso como en el otro, el análisis de sus características tendría que revelarnos informaciones preciosas sobre los procesos que prohíben o permiten la existencia de un planeta a partir de la nebulosa inicial. Mientras esperan estas diferentes misiones de cita con los asteroides que acabamos de citar y que tendrían que proporcionarnos una cosecha de informaciones, especialmente sobre la composición química de estos pequeños cuerpos, los



Figura 1. Situados entre las órbitas de Marte y Júpiter, los asteroides están tan lejos que sólo los percibimos como puntos luminiosos. Como todavía no se les ha dedicado ninguna misión espacial, sólo nuestra imaginación puede ayudarnos a adivinar su aspecto. Así, Ran Miller y W. K. Hartmann, a partir de las observaciones y las fotografías de satélites de los planetas tomadas por la sonda «Voyager» han recostruido el aspecto que deberían presentar estos asteroides. Ceres, según la mitología hija de Saturno y Cibeles (hermana de Júpiter y Neptuno), por ejemplo, es testimonio de la época de formación de los planetas (Cuadro de Ran Miller y W. K. Hartmann, foto. IRL.)

astrónomos se han interesado de cerca por sus características dinámicas.

Para analizar las formas, posiciones y distribución de sus órbitas alrededor del Sol se ha desarrollado toda una disciplina que combina observaciones, estudios teóricos y simulaciones en ordenador. Y los astrónomos no han visto decepcionadas sus esperanzas, gracias a la introducción reciente de métodos de análisis muy elaborados que con frecuencia proceden de la dinámica física general. Simultáneamente, estos pequeños cuerpos, considerados durante mucho tiempo menospreciables, son ahora objeto de investigaciones muy activas.

La chusma del cielo

Los asteroides (fig. 1) forman uno de los tres grupos de cuerpos pequeños que se observan en nuestro sistema solar. Los otros dos grupos son los cometas y los meteoritos. Esta clasificación se basa en la observación. Los asteroides (del griego «asteroedes» que significa parecido a una estrella) aparecen en el cielo como puntos de aspecto estelar, mientras que los cometas son objetos difusos que presentan una «cola», y los meteoritos son cuerpos pequeños que colisionan con la Tierra.

Los asteroides son pequeños cuerpos rocosos de tamaños muy diversos (su diámetro es en general inferior a 800 km) que, como los planetas, describen órbitas elípticas alrededor del Sol. En cierto modo son miniplanetas y, como ellos, con órbitas determinadas principalmente por la atracción del Sol. Estas órbitas de pequeña excentricidad (es decir, casi circulares) se sitúan aproximadamente en el mismo plano que las de todos los planetas (llamado plano de la eclíptica) respecto al que presentan una pequeña declinación. Los más ocupan una zona situada entre las órbitas de Marte y Júpiter, el «cinturón de asteroides» (fig. 2).

Estos pequeños cuerpos, considerados la «chusma del cielo» y también el «cubo de la basura» del sistema solar, suscitaban poco interés entre los investigadores. Se conocían muy poco, ya que su pequeño tamaño los hacen difícilmente observables. Sólo desde hace una veintena de años y gracias a las nuevas técnicas de observación desde la Tierra se ha descubierto la diversidad de su tamaño, de su forma, de su color, y también de su composición química y mineralógica que nos han revelado la riqueza de informaciones que pueden proporcionarnos.

Como todavía no se ha enviado ninguna misión espacial hacia los asteroides, sólo disponemos de fotografías que no pueden mostrar otra cosa que una pequeña mancha luminosa parecida a una estrella. Sin embargo, diferentes métodos de observación nos han permitido obtener más informaciones sobre estos objetos. Así se han podido determinar los diámetros de doscientos asteroides con una precisión del 10 %, obtenidos en la mayoría de los casos midiendo los tiempos de ocultación de estrellas por el asteroide. Ceres, que es el asteroide más grande, tiene un diámetro de 1 025 km, ni siquiera un tercio del diámetro de la Luna. Sólo otros treinta asteroides tiene diámetros superiores a 200 km, y se sabe ahora que la mayoría de los asteroides son cuerpos muy pequeños (figs. 1, 3, 4, 5).

Aunque el tamaño de los asteroides se conoce bien, es mucho más raro que se pueda determinar su masa. Ésta sólo ha podido conocerse en tres asteroides, a partir de las perturbaciones gravitatorias que sufren sus órbitas en encuentros próximos. Cuando un asteroide se acerca a otro cuerpo (otro asteroide o incluso otro planeta), la atracción gravitatoria de éste se suma a la atracción del Sol que determina principalmente su tranyectoria. Entonces es ligeramente desviado y la órbita resultante es modificada. La amplitud de la perturbación de la órbita permite determinar la masa de los dos cuerpos en presencia a condición de que las masas sean del mismo orden de magnitud, lo que no ocurre con el par planeta-asteroide. De ahí que, en el caso de los asteroides, se requiera una circunstancia especial: bien una aproximación de dos asteroides, que es el modo por el que se ha evaluado la masa de Vesta en $1{,}38 \times 10^{-10}$ masas solares (masa solar $= 1{,}989 \times 10^{33}$ g); bien que dos asteroides posean periodos de revolución similares (como, por ejemplo, Ceres y Palas). En este caso particular, los dos asteroides permanecen uno en las proximidades del otro mucho más tiempo que durante un encuentro y su interacción gravitatoria se amplía considerablemente. Las perturbaciones inducidas son entonces suficientes para deformar de forma sensible la trayectoria y permitir la medición de su masa. La de Ceres es de $5{,}9 \times 10^{-10}$ masas solares, y la de Palas de $1{,}08 \times 10^{-10}$ masas solares. La masa total de todos los asteroides conocidos (deducida de la medida de su tamaño y de una estimación de su densidad) es de $1{,}9 \times 10^{-9}$ masas solares, es decir, mil seiscientas veces más pequeña que la de la Tierra (que vale unos 6×10^{27} g), y menos del 1 % de la de Mercurio, uno de los planetas más pequeños.

Los asteroides, como los planetas, reflejan la luz solar y el estudio de su brillo proporciona informes preciosos. En la mayoría de los asteroides se observan variaciones de brillo (curva de luz) que muestran que son objetos en rotación. Al analizar estas variaciones de brillo –a menudo irregulares y rápidas– los astrónomos se han percatado de que estos objetos nos presentan sucesivamente diversos aspectos de su superficie. Han deducido que son inhomogéneos, que son irregulares y que el aspecto de su superficie (especialmente

Este artículo forma parte de los euroartículos que se publican con el apoyo de la Dirección General de «Innovation, Marchés et techologies de l'information» de la Comisión de las Comunid... Europeas en varias revistas europeas. Participan en este proyecto las revistas *Endeavour* en Gran Bretaña, *Natuur en Techniek* en los Países Bajos, *la Recherche* en Francia, *Mundo Científic...* en España, *Scienza e Tecni...* en Italia, *Technology Ireland* en Irlanda *Child der Wissenschaft* en la República Federal Aleman... y *Periscopio tis Epistimis* en Grecia.

su poder reflectante) varía de un punto a otro. En cuanto a sus rotaciones, éstas se efectúan, según parece, alrededor de ejes orientados al azar en el espacio. Los periodos de rotación son en general de algunas horas, pero algunos asteroides tardan varios años en efectuar una sola rotación. Otros, como el asteroide 624 Héctor, tienen curvas de luz parecidas a las de las estrellas dobles con eclipses (dos estrellas próximas que giran una alrededor de la otra) y no se pude excluir que en realidad estén constituidos por dos asteroides que giran uno alrededor del otro (fig. 5). La luz de los asteroides nos desvela, por tanto, las formas más o menos regulares de éstos, pero también contiene un mensaje sobre su composición química. El análisis del espectro, –es decir de la distribución de las longitudes de onda de la luz visible o infrarroja reflejada– muestra, en efecto, la existencia de rayas o de bandas espectrales de absorción características y que revelan la abundancia de los diferentes elementos químicos en su superficie. Se distinguen varios grupos: el grupo C (por carbonados) en el que predomina el carbono y que agrupa a las tres cuartas partes de los asteroides. Se trata de objetos muy oscuros, análogos a los meteoritos carbonados que caen en la Tierra. Los del grupo S están dominados por los silicatos y los del grupo M por los metales (especialmente hierro y níquel, sin trazas de silicatos). Estos últimos incluso podrían ser bloques de metales puros. A medida que continúan las observaciones se van definiendo otros grupos que revelan la sorprendente diversidad de estos objetos. Hay que señalar que todos estos grupos no ocupan la misma posición en el cinturón de asteroides. Mientras el grupo C predomina en las partes externas (las más alejadas del Sol), el grupo S se agrupa en el interior. ¡Una particularidad todavía inexplicada!

El análisis de estas abundancias químicas sugiere una gran similitud con los meteoritos que caen sobre la Tierra. Así, los meteoritos llamados condritos carbonados son bastante parecidos a los asteroides del grupo C, los llamados pétreos a los del grupo S y los meteoritos metálicos a los del grupo M. Parece pues lícito considerar al cinturón de asteroides como la principal reserva de meteoritos. Esta hipótesis *a priori* seductora plantea sin embargo numerosas dificultades. ¿Cómo se efectúa la transferencia desde el cinturón hasta la órbita terrestre? ¿Cuáles son los procesos capaces de romper y eyectar de este modo a los asteroides? Estas preguntas espinosas han llevado a los científicos a examinar más detalladamente la dinámica de los asteroides y su distribución en el cinturón.

ALGUNAS NOTAS HISTÓRICAS SOBRE LA MECÁNICA CELESTE

Se sabe que, salvo para el problema de los dos cuerpos, no existe una solución analítica del movimiento de un planeta. Por esta razón se han investigado soluciones en forma de desarrollos en serie, es decir, de un polinomio ordenado en potencias crecientes de un parámetro pequeño, por ejemplo, la excentricidad o la inclinación. Este tipo de métodos ha dominado en el estudio de la dinámica solar hasta la aparición de los ordenadores.

La ciencia europea ha destacado en este campo durante los tres últimos siglos. Clairaut en 1752 y luego d'Alembert fueron los precursores, seguidos por Lagrange y Laplace, autores de una obra enciclopédica. El primero al crear la mecánica analítica, y el segundo al tratar todos los problemas (que se planteaban en su época) con soluciones que con frecuencia son todavía clásicas en la actualidad. A los nombres que evocamos se habría podido añadir otro en este final del siglo XVIII, el de Napoleón Bonaparte, quien, con su modestia legendaria declaraba: «Si no me hubiese convertido en general en jefe y en el instrumento de un gran pueblo, me habría dedicado al estudio de las ciencias exactas y habría avanzado por los caminos abiertos por Galileo y Newton. Y dado que he triunfado siempre en mis empresas, también me habría distinguido grandemente por mis trabajos científicos; habría legado grandes descubrimientos. Ninguna otra gloria habría podido tentar mi ambición.»

Esta cita pone de manifiesto el prestigio de la mecánica celeste y la geometría en los inicios del siglo XIX.

¡Podemos lamentar que Bonaparte no siguiese este camino! Durante el siglo XIX dos grandes representantes de la mecánica celeste dominaron su época: Le Verrier con el descubrimiento por cálculo del planeta Neptuno y Delaunay con su teoría de la Luna. Finalmente «last but not least» Poincaré, cuya obra publicada al final del siglo XIX todavía fecunda nuestra época, es y seguirá siendo una referencia inevitable para todos los trabajos modernos de dinámica.

Un cinturón alrededor del Sol

El primer asteroide fue descubierto por casualidad el 1.º de enero de 1801 durante un programa de observaciones efectuadas por Piazzi en Palermo: Ceres (fig. 1). Se determinó que su órbita era elíptica y su semieje mayor (distancia media Sol-Ceres) se estimó en 2,8 UA (una unidad astronómica UA = distancia Tierra-Sol, es decir 150 millones de kilómetros). Y resultaba que «faltaba» un planeta en ese lugar del sistema solar. En efecto, una ley ahora más conocida con el nombre de ley de Titus-Bode, acababa de ser descubierta en 1772 por Titus. Esta ley puramente empírica que ninguna teoría permite apoyar, predice que las distancias medias de los diferentes planetas al Sol siguen una progresión geométrica. Desde Mercurio (0,4 UA del Sol) hasta Plutón (77,2 UA) los nueve planetas ocupan aproximadamente la posición predicha. La única contradicción proviene de que la ley predice la existencia de un planeta a 2,8 UA que no existe. De ahí el gran interés que suscitó el descubrimiento del asteroide Ceres cuya distancia media al Sol es precisamente de 2,8 UA.

Pero la determinación de su luminosidad y, por tanto, de su tamaño (ya que la cantidad de luz reflejada es proporcional a la superficie) mostró que se trataba de un objeto mucho más pequeño que un planeta. Por esta razón se llamó a Ceres pequeño planeta o asteroide. Poco después fueron descubiertos otros. Casi todos estaban, como Ceres, situados en una amplia zona entre la órbita de Marte y la de Júpiter que se designó con el nombre de «cinturón de asteroides» (fig. 2). Durante mucho tiempo los asteroides sólo fueron observados visualmente y reconocidos como tales por sus movimientos respecto a las estrellas. En 1890, en Heidelberg y en Niza, Wolf y Charlois tomaron las primeras fotografías de asteroides por medio de un telescopio. Las placas fotográficas se exponían durante una hora compensando el movimiento aparente de las estrellas debido a la rotación de la Tierra. Las estrellas aparecen así como puntos, mientras, que los asteroides, que se desplazan sobre el fondo del cielo, describen un segmento de recta. Actualmente se emplea todavía esta misma técnica. Se ha descubierto un gran número de asteroides y se ha determinado sus trayectorias, especialmente gracias al uso intensivo de los telescopios de un gran campo llamados de Schmidt, que proporcionan una visión de amplias porciones del cielo (fig. 6). La determinación de las trayectorias u órbitas de los asteroides requiere varias fotografías, que se toman en épocas diferentes. A partir de estas fotografías se conocen las posiciones en las que se encontraba el asteroide en los momentos de las observaciones. Se pueden determinar entonces por medio de los métodos de cálculo de la mecánica celeste los elementos de la órbita del asteroide. Actualmente se conocen las órbitas de tres mil asteroides, pero, aunque casi todas están enteramente situadas en el «cinturón de asteroides», algunos de ellos rehusan acatar esta regla y surcan el sistema solar siguiendo trayectorias insólitas.

No todos los asteroides permanecen confinados en el cinturón. Se cree actualmente, debido a la gran semejanza de la composición química de meteoritos y asteroides, que una parte no despreciable de meteoritos –que por tanto han llegado a la Tierra, lejos del cinturón– son en realidad residuos de asteroides.

Además de los meteoritos de pequeño tamaño, parece que residuos de asteroides más grandes (de 1 a 2 km de

diámetro en promedio) son eyectados del cinturón de asteroides y que sus órbitas terminan por cortar la órbita terrestre. Estos objetos llamados asteroides Apolo (fig. 2), por poco numerosos que sean (actualmente se conocen unos sesenta), son muy interesantes para el estudio de la Tierra y de los planetas. En efecto, se sabe actualmente que son estos objetos los que han provocado los cráteres de más de cinco kilómetros de diámetro que se observan en la Tierra, la Luna, Mercurio, Venus y quizás en Marte. La probabilidad de colisión de un objeto Apolo con la Tierra, aunque pequeña a escala humana (una colisión cada 200 millones de años) es grande a la escala de los miles de millones de años de los tiempos geológicos. La colisión más reciente se remonta a una fecha comprendida entre 25 000 y 50 000 años. En Arizona se excavó un cráter de aproximadamente 1 km de diámetro y 200 m de profundidad, el «Meteor Crater». Por otra parte, aunque el problema es objeto de enconadas controversias (véase «¿Obedece el ritmo de extinción de las especies a un reloj astronómico?» en nuestro número de julio/agosto de 1985), es posible que fuese el impacto de un asteroide de 10 km el que provocó la extinción del 60 % de las especies animales entre las épocas Terciaria-Cretácico hace unos 65 millones de años. Todo el mundo se acuerda por otra parte del pánico provocado por la trayectoria rasante del asteroide Hermes que en 1937 rozó a la Tierra a menos de... un millón de kilómetros. El origen y la forma en que estos objetos llegan a las proximidades de la Tierra todavía son poco conocidos. Algunos astrónomos creen que podría tratarse de restos de cometas que han perdido su sustancia gaseosa, pero es más probable que se trate de asteroides eyectados del cinturón por diferentes mecanismos que expondremos más adelante.

Algunos centenares de asteroides, sin duda, atraviesan la órbita de Marte; algunos alcanzan incluso las órbitas de la Tierra, de Venus y de Mercurio. En cambio, se conocen pocos asteroides que atraviesen la órbita de Júpiter. Sin embargo, en 1977 se descubrió un único asteroide, denominado 2060 Quirón (fig. 4), entre las órbitas de Saturno y de Urano. El descubrimiento de este asteroide especial, de momento único, podría ser el indicio de la existencia de otro cinturón de asteroides situados entre las órbitas de los planetas gigantes.

¿De dónde proceden todos estos asteroides? ¿Son fragmentos de cuerpos más grandes o se formaron tal como son en esta región del sistema solar entre Marte y Júpiter?

¿Nacidos al mismo tiempo que los planetas?

La hipótesis considerada en primer lugar para explicar el origen de los asteroides tenía el mérito de la sencillez. Como los asteroides se encontraban allí donde debería haber habido un planeta, es que este planeta había existido realmente, pero se había desintegrado por razones desconocidas y los asteroides eran sus fragmentos.

Actualmente esta hipótesis se ha abandonado, debido principalmente a que la masa total de los asteroides es, como hemos visto, muy inferior a la de un planeta, pero también porque no existe ningún mecanismo conocido capaz de proporcionar la energía necesaria para hacer estallar a un planeta de este modo. Actualmente la teoría ampliamente admitida es que los asteroides se formaron sin duda en su emplazamiento actual en una zona en la que, por razones especiales, no pudo aparecer un planeta.

En cualquier caso, el origen de los asteroides está estrechamente relacionado con el de los planetas. Como ellos, los asteroides nacieron en las nubes interestelares (visibles a simple vista cuando se mira la Vía Láctea) formadas por gas y polvo. Fue sin duda un aumento de la densidad, desencadenado por algún fenómeno cósmico violento (explosión de una estrella o paso de una onda de choque por ejemplo) el que provocó la condensación de la nube y la coagulación de los granos de polvo interestelar y del gas que la componían. De este modo pudieron formarse objetos llamados planetesimales, de tamaños próximos a los 100 kilómetros. A continuación estos planetesimales se aglomeraron para formar objetos mucho más másicos, cuyo tamaño dependía de la cantidad de la materia que había en la nube interestelar de que surgieron. Se supone que es así como se formaron los planetas. Pero, si se quiere creer que los asteroides son el resultado de la formación interrumpida de un décimo planeta, se plantean numerosas preguntas: ¿dado que los materiales existían, por qué el proceso de aglomeración de los planetesimales se interrumpió en esta zona del sistema solar mientras continuaba en otras? ¿Sufre esta región influencias especiales?

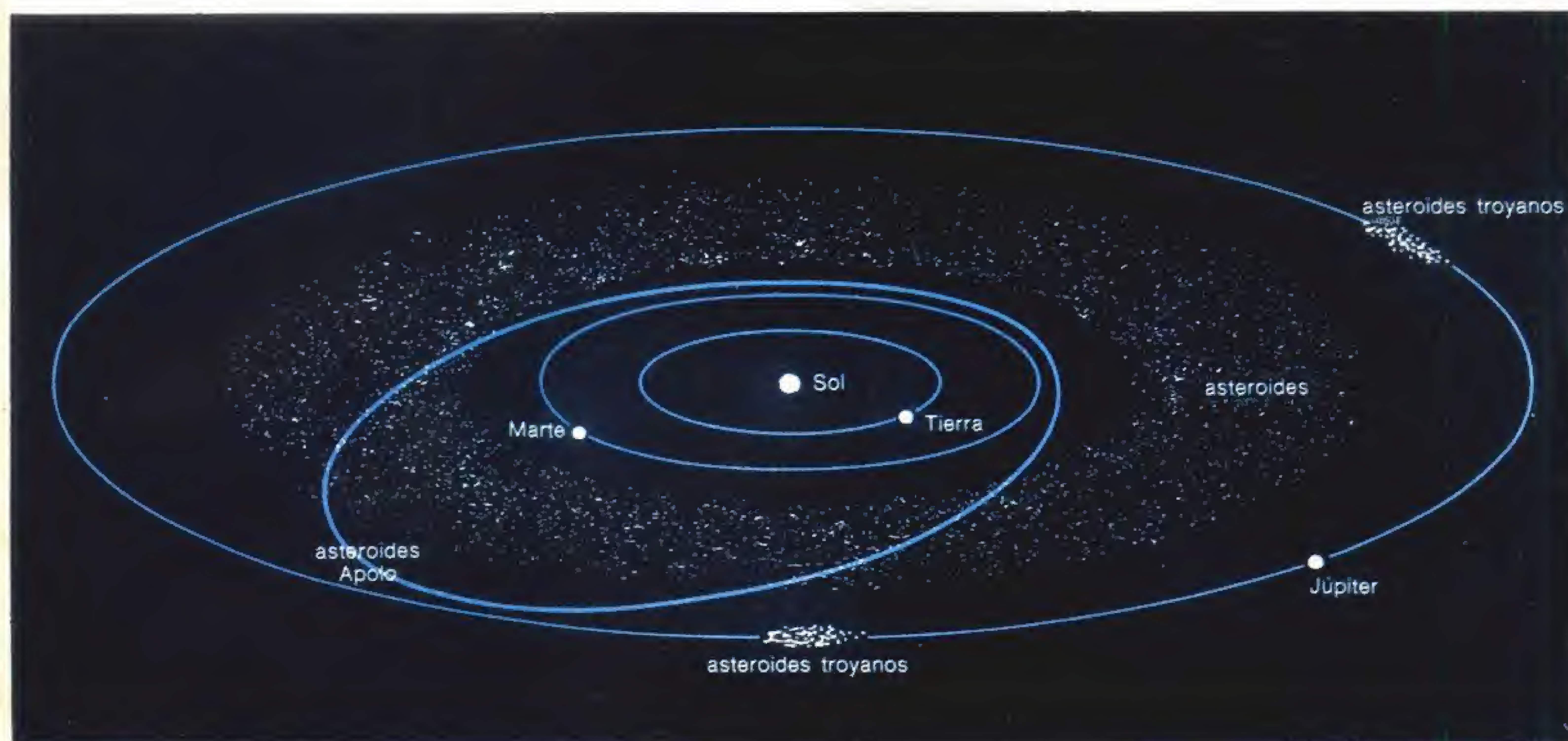


Figura 2. Al igual que los planetas, los asteroides describen órbitas elípticas alrededor del Sol bajo la influencia de su atracción gravitatoria. Se distribuyen en una zona muy definida entre las órbitas de los planetas Marte y Júpiter llamada cinturón de los asteroides. Algunos, los asteroides troyanos (ya que han recibido nombres de los héroes de la guerra de Troya), comparten la órbita de Júpiter. Además, algunos de estos objetos, llamados de la familia Apolo, tienen órbitas diferentes, que los llevan a acerarse al planeta Marte e incluso a la Tierra.

Extrañas lagunas en la distribución de los asteroides.

La posición de los planetas actuales sugirió al astrofísico V.S. Safronov(1) una explicación que en el momento actual sigue siendo bastante convincente. En su opinión, la proximidad del futuro planeta gigante Júpiter desempeñó un papel determinante. Júpiter es en efecto, y con gran diferencia, el planeta más grande del sistema solar: su masa es más de dos veces y media la de todos los otros planetas juntos y su atracción gravitatoria es por tanto dominante, después de la del Sol. La acumulación de una masa tan grande pudo tener una influencia nada despreciable durante la formación del sistema solar.

Se puede pensar, por ejemplo, en lo que pasó durante la formación de Júpiter: el futuro cinturón de asteroides estaba lleno de planetesimales. Las cercanías de Júpiter también, pero éstos eran probablemente mucho más másicos, sin duda porque había más gas y polvo en esta región. Según la hipótesis adelantada por V.S. Safronov, la mayoría de estos planetesimales se habrían condensado para formar Júpiter, pero las órbitas de algunos, debido a las colisiones, se habrían alargado, se habrían «descircularizado» de modo que, al abandonar las proximidades inmediatas del (futuro) planeta Júpiter, habrían cruzado la zona del (futuro) cinturón de asteroides como en el juego de bolos, habrían tenido entonces un efecto devastador: algunos de los planestesimales de esta zona habrían sido expulsados, mientras otros habrían sufrido aceleraciones «parásitas» y el proceso de acumulación se habría transformado en un proceso contrario de fragmentación por colisiones. En vez de aglomerarse para formar un planeta, los fragmentos resultantes de estas colisiones mutuas habrían formado entonces los asteroides. Esta hipótesis parece razonable, pero subsisten sin embargo numerosas dificultades cuando se examina detalladamente la distribución de los asteroides tal como se observa.



Figura 3. Con sus 580 kilómetros de diámetro, Palas se cuenta entre los asteroides más grandes. Recientemente se ha descubierto que a su vez posee un satélite, cuya sombra se ve aquí en forma de mancha alargada. Aunque muy oscura, la superficie de Palas refleja suficiente luz para iluminar débilmente su minúscula luna por el lado nocturno. Este pequeñísimo satélite mide unos 90 km de diámetro y se halla a unos 300 km de los cráteres de la superficie de Palas. (Cuadro de Ran Miller y W. K. Hartmann, foto. IRL.)

(1) V.S. Safronov, en *Asteroids*, Gehrels (ed.), University of Arizona Press, 1972.

El cinturón de asteroides forma un disco situado a una distancia del Sol entre dos y cincos unidades astronómicas (de dos a cinco veces la distancia Sol-Tierra). Si los asteroides se formaron, como en el modelo de Safronov, a partir de colisiones de planetesimales, que es un proceso fundamentalmente aleatorio, se esperaría *a priori* una distribución uniforme de las órbitas de los asteroides en el cinturón. Pero la observación muestra que esto no es así (fig. 7). Si se examina la distribución de los asteroides en función de su distancia al Sol, un primer examen muestra ya la existencia de dos zonas. Así, el cinturón principal, la parte más interna (entre 2 UA y 3,3 UA), está muy poblado con excepción de zonas estrechas –lagunas– en las que prácticamente no se encuentra ningún asteroide, como por ejemplo a 2,50, 2,82, 2,96 y 3,28 UA del Sol (fig. 7). Estas lagunas, llamadas lagunas de Kirkwood por el nombre del astrónomo que las observó por primera vez, están de otra parte al lado de picos en la distribución de las órbitas de los asteroides. En estas regiones se concentran familias de asteroides, las familias de Hirayama. Este astrónomo japonés demostró que todos los asteroides de una misma familia poseen elementos orbitales idénticos. Podrían ser, por ejemplo, fragmentos de un gran asteroide que se hubiera disociado por una colisión.

A la inversa, la zona exterior del cinturón (desde 3,3 UA hasta la órbita de Júpiter a 5,2 UA) está prácticamente despoblada, a excepción de algunas concentraciones de asteroides localizados en regiones muy definidas, con valores muy precisos del radio: el grupo Hilda a 3,9 UA, el asteroide Thule a 4,3 UA y los asteroides «troyanos» (ya que han recibido los nombres de los héroes de la guerra de Troya) a 5,2 UA, exactamente en la misma órbita que la de Júpiter.

Por tanto, el problema es complejo. ¿Cómo explicar a partir de simples colisiones esta distribución en dos zonas con propiedades distintas? ¿Por qué algunos valores muy precisos del semieje mayor de la órbita parecen prohibidos en el cinturón interior mientras que sólo algunos, igualmente precisos, están permitidos en el cinturón exterior? Estas preguntas, que de entrada podrían parecer secundarias, son por el contrario de una importancia capital, ya que si no pudiese hallarse ninguna explicación satisfactoria para cada una de estas particularidades, nos veríamos sin duda obligados a modificar completamente nuestras ideas sobre la formación de los planetas como resultado de la acreción de planetesimales. Esto explica ampliamente los esfuerzos que hacen actualmente los investigadores que, como acabamos de ver, intentan con la ayuda de supercalculadoras explicar y reproducir fielemente huecos y picos de la distribución de los asteroides.

Órbitas resonantes

Antes de examinar los diferentes intentos de explicación hay que saber que, para un objeto en órbita alrededor del Sol, el periodo T (tiempo empleado en recorrer esta órbita) y el radio R de la órbita (o, más exactamente, el semieje mayor cuando se trata de una órbita elíptica) están relacionados por la tercera ley de Kepler $T^2a^3 = C^{te}$. Por tanto, a cada órbita (definida por su semieje mayor) corresponde un periodo único. Y entonces aparece un hecho notable: todas las anomalías de la distribución



Figura. 4 La mayoría de los satélites describen órbitas elípticas casi circulares, entre las de Marte y Júpiter. En cambio, el asteroide Quirón es una excepción ya que está más allá de Júpiter y su órbita está cerca de la de Saturno. El cuadro muestra a Quirón pasando a 6 millones de kilómetros por encima de Saturno, rodeado de sus anillos. Se observará la sombra del planeta en estos últimos. (Cuadro de Ran Miller y W. K. Hartmann, foto. IRL.)

de las órbitas –lagunas o acumulaciones– corresponden a unos valores extremadamente concretos del periodo.

Todos estos valores son, en efecto, conmensurables con el periodo de la órbita de Júpiter. Dicho de otro modo, estos periodos, que se llaman periodos de resonancia, se expresan por medio de una relación sencilla –una fracción racional con coeficientes (enteros) relativamente pequeños como 1/1, 1/2, 2/3, etc.– en función del periodo del planeta Júpiter. Dinámicamente esto significa que el asteroide da un número completo de vueltas (tres por ejemplo para la resonancia 2/3) cuando el planeta realiza otro número entero (2 en este caso). El resultado es que, al cabo del intervalo de tiempo correspondiente, la situación respectiva del asteroide y de Júpiter vuelve a ser casi la misma que en la coincidencia precedente. El análisis de las órbitas muestra así que las lagunas de Kirkwood ocupan las resonancias 3/1, 5/3, 7/3, 2/1. Para la resonancia 3/1, por ejemplo, el asteroide (en realidad ausente) daría tres vueltas alrededor del Sol mientras Júpiter describiese una sola. En cambio, en el cinturón externo son las acumulaciones las que ocupan las posiciones de resonancia: el grupo Hilda tiene la resonancia 3/2, Thule la resonancia 4/3 y los asteroides troyanos la resonancia 1/1 ya que ocupan la misma órbita que Júpiter (fig. 7).

Está pues claro que, para las órbitas que corresponden a los periodos de resonancia, la repetición periódica de cualquier configuración geométrica Sol-Júpiter-Asteroide implicará efectos dinámicos especiales. Aunque la órbita de un asteroide queda determinada principalmente por la atracción gravitatoria del Sol, también es influida por la atracción de Júpiter, que no es despreciable debido a la importante masa y a la proximidad del planeta gigante.

En el caso general, estas pequeñas perturbaciones gravitatorias debidas a Júpiter se anulan de una revolución a otra. Pero para los órbitas de resonancia, en las que las configuraciones geométricas se repiten casi idénticamente, estas perturbaciones, a semejanza de los impulsos dados a un columpio, se suman en cambio constructivamente. Al acumular sus efectos terminan por modificar considerablemente la órbita inicial. Sin embargo, aunque esta condición de resonancia nos permite comprender que la dinámica de estas zonas es especial, es incapaz de explicar la existencia simultánea de agujeros y acumulaciones de asteroides. La situación es incluso paradójica ya que, en el cinturón principal interior, las perturbaciones debidas a las resonancias parecen desestabilizar las órbitas provocando vacíos, mientras que el efecto es el contrario en el cinturón externo en el que se observan acumulaciones. Esta paradoja aparente es difícilmente explicable por las teorías y, como veremos a continuación, pese a numerosos esfuerzos, ninguna solución satisfactoria puede explicar a la vez los agujeros de Kirkwood y las acumulaciones de asteroides en las resonancias exteriores.

Por lo que respecta a las concentraciones (del cinturón exterior), los métodos matemáticos desarrollados por los especialistas en mecánica celeste de los tres últimos siglos parecen poder aportar una respuesta. El caso de los asteroides troyanos (resonancia 1/1) es sin duda el más sencillo. Estos asteroides giran alrededor del Sol a la misma velocidad que Júpiter, en la misma órbita, pero están distribuidos en dos grupos, uno 60° por delante del planeta gigante y el otro 60° detrás de él (fig. 2). La configuración relativa de los dos grupos y de Júpiter no se modifica pues con el paso del tiempo. De hecho, los cálculos del matemático Lagrange demostraron hace más de un siglo, que forman con Júpiter los vértices de un triángulo equilátero y que las órbitas correspondientes son estables. La resonancia en este caso mantiene el equilibrio.

Para las otras concentraciones del cinturón externo (con resonancias 4/3 y 3/2) las cosas no son tan sencillas, pero cálculos similares explican sin problemas la situación. Todo sucede como si estas resonancias ejerciesen un mecanis-

Un ordenador especialmente ideado para el estudio del sistema solar.

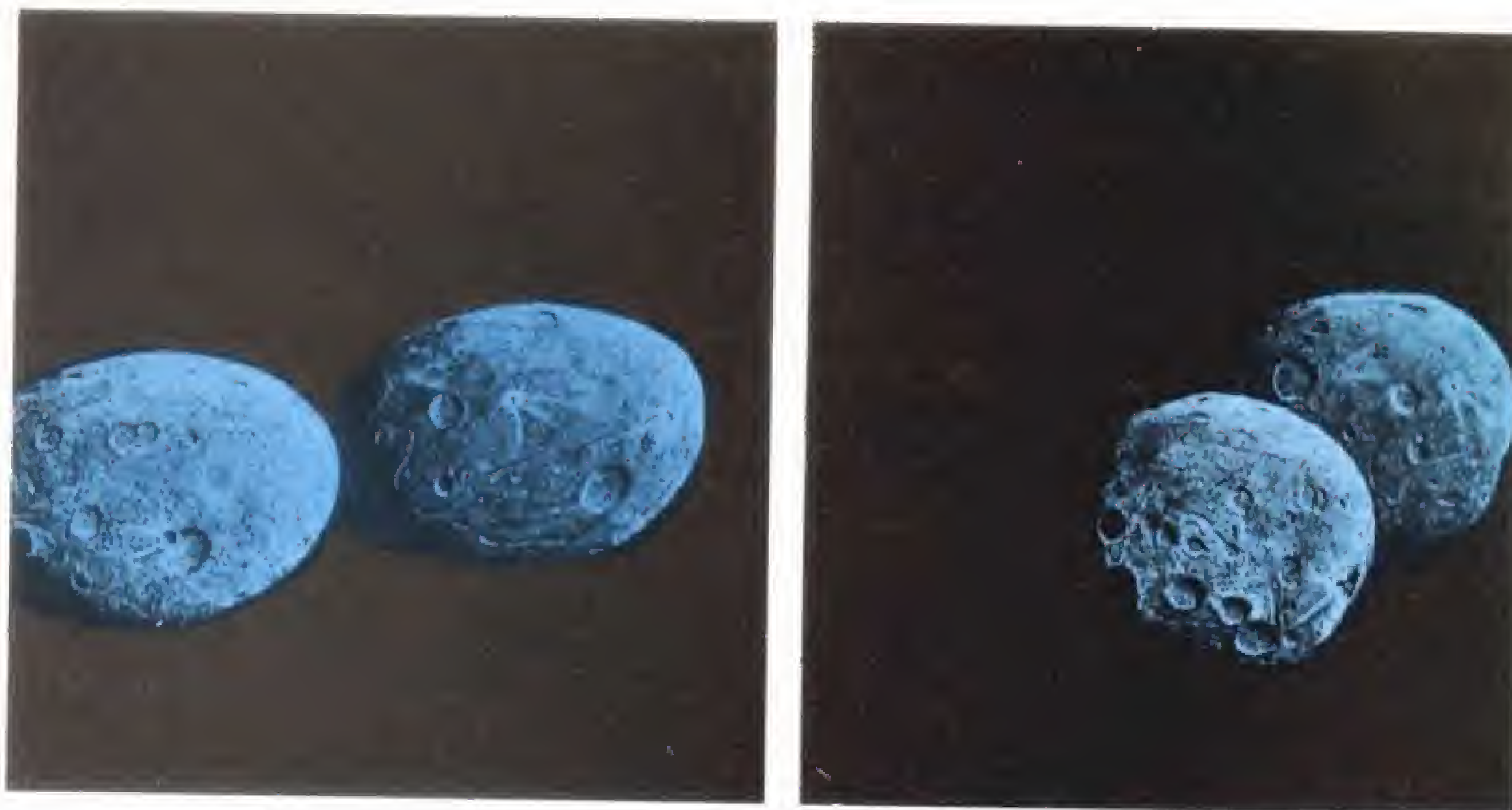


Figura 5. Mientras la mayoría de los asteroides gravitan en el cinturón principal, con sus semiejes mayores entre 2 y 3,5 unidades astronómicas, algunos de ellos, menos conformistas, visitan otras regiones del sistema solar. Héctor, el mayor de los planetas troyanos, describen la misma órbita que Júpiter, pero permaneciendo a 60º de éste gracias a la resonancia 1/1. De otra parte, este asteroide tiene una luminosidad que varía en una relación de 1 a 3, lo que puede explicarse bien por una forma alargada o incluso (hipótesis del cuadro de Hartmann) por una binariedad eventual. Se observan dos vistas del asteroide de doble Héctor aproximadamente con una hora de intervalo. Debido a la rotación, los mismos cráteres se ven desde ángulos diferentes. (Cuadro de Ran Miller y W. K. Hartmann, foto. IRL.)



Figura 6. Los asteroides son tan pequeños que sólo se perciben –como las estrellas– como puntitos brillantes en el cielo. Sólo se distinguen de estas últimas por su movimiento que les da, en una fotografía tomada siguiendo el movimiento aparente del cielo, el aspecto de un pequeño segmento en lugar de un punto (como en el caso de una estrella). Así es como se han descubierto estos astros, lo que exige un telescopio de gran campo, que permite observar astros poco luminosos, llamado telescopio de Schmidt. La fotografía representa el único telescopio de Schmidt francés, instalado en la meseta de Caler a una altura de 1.270 m. (Foto. Obs. de Calern.)

mo protector anulando los efectos que podrían desestabilizar las órbitas. Por tanto, la situación es alentadora ya que la mecánica celeste explica de una forma sencilla las acumulaciones del cinturón externo. ¿Puede también explicar por qué, aparte de estas acumulaciones en las zonas de resonancia, este cinturón externo está tan despoblado (comparado con el cinturón principal)?

Parece que la respuesta vuelve a ser bastante sencilla: en esta región del cinturón, la más cercana a Júpiter, las perturbaciones gravitatorias debidas al planeta gigante son lo bastante importantes para expulsar a los asteroides que no están protegidos en las resonancias examinadas precedentemente. La eficacia de este fenómeno de expulsión se ha puesto de manifiesto en experimentos numéricos que muestran claramente que sólo las zonas de resonancia son perdonadas. Sin embargo, estas mismas simulaciones numéricas demuestran que este mecanismo de expulsión sólo funcionan en las proximidades inmediatas de Júpiter, aproximadamente hasta 3,9 UA (resonancia 3/2) y no se aplica a la zona vacía entre 3,3 UA y 3,9 UA.

La ausencia de asteroides en esta última zona es un problema con el que todavía chocan las teorías y los cálculos numéricos. Las simulaciones numéricas consisten en calcular numéricamente órbitas de asteroides ficticios cuyas condiciones iniciales se eligen al azar, simulando así la realidad de la mejor forma posible. Pero todavía no se puede, dada la limitación de la velocidad de los ordenadores y su precisión, reproducir válidamente toda la evolución del cinturón. Los cálculos limitados a 100 000 años (mientras la edad del sistema solar se calcula en 4 500 millones de años) no han mostrado ninguna expulsión de asteroides. Hay que confiar en que la reciente puesta a punto en el Instituto Tecnológico de California de un ordenador especialmente concebido para el estudio de la dinámica del sistema solar permitirá aportar una solución a este problema. Mientras se espera, han sido avanzados igualmente otros intentos de explicación más teóricos.

A partir de consideraciones energéticas sencillas (por ejemplo, la energía

debida al movimiento nunca puede ser negativa) es fácil darse cuenta de que algunos tipos de órbitas no pueden existir. Este resultado trivial lo es menos cuando las colisiones son susceptibles de hacer cambiar a un asteroide de órbita, pero, cabe que tales efectos estén en el origen de la evasión de los asteroides hacia fuera de la zona vacía del cinturón externo entre 3,3 y 3,9 UA.

Según una aproximación de nuevo distinta, y quizá prometedora, unos investigadores italianos, A. Nobili y A. Milani,[2] han demostrado numéricamente la existencia de regiones en las que en el comportamiento de las órbitas es caótico. Un sistema dinámico se dice caótico cuando las trayectorias de dos asteroides inicialmente próximas se separan y divergen exponencialmente en el curso del tiempo (una divergencia que se cuantifica por medio de un parámetro llamado exponente de Lyapunov: si es mayor que cero, el movimiento es caótico). La particularidad de un sistema de este tipo es que su destino depende hasta tal punto de los detalles de las condiciones iniciales que resulta imposible cualquier predicción de su evolución (pese al carácter determinista de las ecuaciones que gobiernan al fenómeno). Después de algunos cientos de miles de años, dos asteroides que inicialmente viajaban juntos habrán perdido por tanto todo «recuerdo» mutuo. Los resultados de los investigadores italianos parecen demostrar que algunas regiones del cinturón son efectivamente caóticas. En ellas, todo asteroide divergerá tarde o temprano. Pero estas regiones tienen unas dimensiones demasiado pequeñas para explicar la ancha zona vacía comprendida entre 3,3 y 3,9 UA.

Pese a este último punto de resistencia –la explicación de la zona vacía entre 3,3 y 3,9 UA– poseemos de todos modos un conjunto de buenos elementos de explicación de la estructura del cinturón externo. Desgraciadamente no sucede lo mismo con el cinturón principal.

El origen de las lagunas de Kirkwood

La característica más problemática de la parte más interna o principal del cinturón es la existencia de las lagunas de Kirkwood: la ausencia de asteroides en algunas órbitas resonantes. Han sido propuestas diversas hipótesis para explicar estas lagunas. Puede agruparse en cuatro grupos, que examinaremos con detalle ya que muestran la extrema complejidad de un problema aparentemente sencillo. Se ha sugerido una explicación puramente *estadística*, relativamente seductora por su sencillez, que puede comprenderse por analogía con un péndulo que oscila. Cuando se separa un péndulo de su posición de equilibrio, oscila de un extremo al otro de su trayectoria pasando por una posición media en la que su velocidad es máxima. Por tanto, sólo pasa muy poco tiempo, una fracción muy pequeña de su periodo de oscilación, en esta posición. Si se lo observa en un instante elegido al azar, es probable que ocupe otra posición de su trayectoria. De ahí que, si se observa una colección de péndulos que oscilan, muy pocos de ellos, o ninguno, serán sorprendidos en el instante fugaz en el que ocupan su posición media. Podría suceder lo mismo con los asteroides: si estuviesen todos oscilando alrededor de una posición media representada por la órbita de resonancia (y los cálculos de dinámica celeste indican que es esto precisamente lo que tiene que suceder), esta posición aparecería despoblada, exactamente como lo están las lagunas de Kirkwood. Simulaciones numéricas, así como una aproximación analítica por el método llamado de mezcla de fase, han confirmado la validez de este proceso. Desgraciadamente, las lagunas así formadas son mucho más estrechas (en la distribución por periodos) que las que se observan.

¿No será entonces posible explicarlas por colisiones entre los asteroides de una resonancia y los asteroides vecinos, colisiones que provocarían la destrucción o la expulsión de los asteroides? Esta hipótesis *colisional* tiene la ventaja de explicar las lagunas de Kirkwood (en el cinturón interior) sin que haya conflicto con las observaciones de la zona exterior. Recordemos que en esta zona exterior hay acumulaciones y no lagunas en los puntos de resonancia. Pero los procesos de despoblamiento de las resonancias por colisiones serían sencillamente ineficaces debido a la pequeña densidad de asteroides en esta región y, por tanto, a la escasa frecuencia de los choques.

En cambio, en el cinturón interno, en el que el número de asteroides es muy grande, las colisiones son numerosas y sus efectos son ampliados por las variaciones de la forma de la órbita (excentricidad) que sufre un asteroide en el curso del tiempo. Como indican los cálculos, describe una zona relativamente grande y, aunque mantiene la misma distancia media al Sol, cruza con mucha frecuencia órbitas vecinas (fig. 8). Para una excentricidad que varíe de 0 a 0,2, por ejemplo, la órbita del asteoide barre una amplia porción del espacio comprendida entre 2 y 3 UA, de modo que la probabilidad de colisión aumenta considerablemente. (Le sucedería lo mismo a un esquiador que efectuase amplios virajes durante un descenso en medio de una multitud de esquiadores). Las experiencias numéricas efectuadas por Claude Froeschlé y Hans Scholl, en el Observatorio de Niza, en los años setenta,[3] muestran claramente que, en las proximidades de las resonancias, algunas órbitas sufren variaciones notables de la excentricidad. Pero, una vez más, estas mismas simulaciones muestran que el mecanismo *colisional*, aunque realista, es insuficiente para despoblar las lagunas.

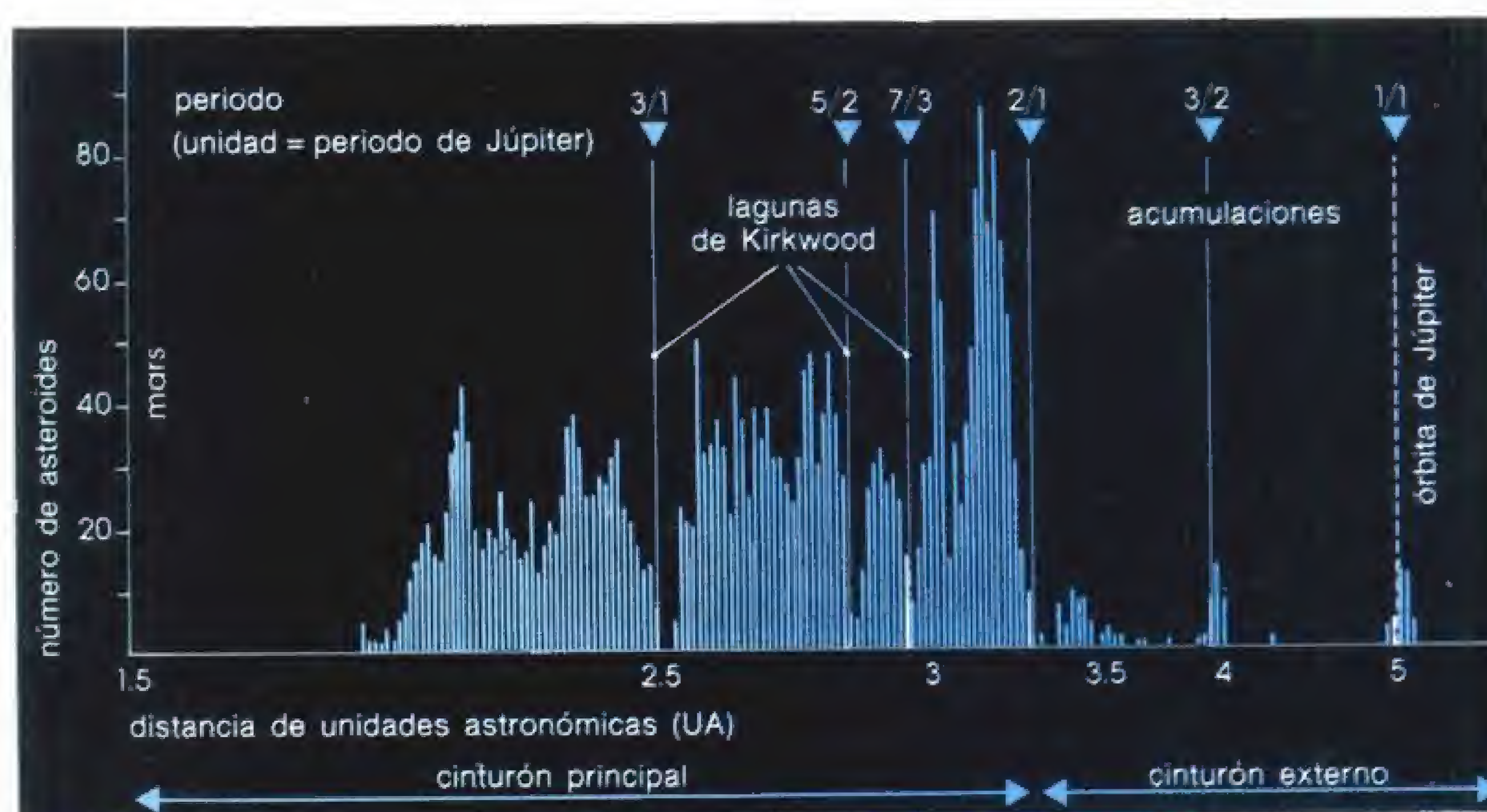


Figura 7. El periodo de revolución de un asteroide (como el de todos los cuerpos celestes) alrededor del Sol está relacionado con el radio de su órbita. Uno de los enigmas más agudos que plantean los asteroides proviene de la distribución de los radios de sus órbitas (o –si se prefiere– de sus periodos de revolución). Se ha representado en función de la distancia al Sol en UA (UA = distancia-Sol-Tierra = 150 millones de kilómetros) el número de asteroides que gravitan a esta distancia. En vez de ser uniforme, la distribución presenta lagunas, familias, acumulaciones. La escala de arriba muestra la gradación en periodos tomando como unidad el del planeta Júpiter. Los detalles de la distribución de los asteroides se revelan para unos valores particulares –llamados de resonancia– de sus periodos, para los que están en relaciones conmensurables con el de Júpiter.

Unas ecuaciones que resisten al análisis

Las hipótesis más sencillas, *estadística* o *colisional*, no bastan pues para explicar las lagunas. La coincidencia entre el emplazamiento de éstas y las

(2) A. Nobili, A. Milani, *Celestial Mechanics, 34,* 1984.
(3) C. Froeschlé, H. Scholl, *Astron. and Astrophys., 48,* 1976; *Astron. and Astrophys., 57,* 1977; *Astron. and Astrophys., 72,* 1979.

acumulaciones y las zonas en resonancia con Júpiter es tan grande, no obstante, que se ha intentado lógicamente explicar la distribución no homogénea de los asteroides recurriendo a las ecuaciones del movimiento de una asteroide sometido a la atracción gravitatoria del Sol y de Júpiter. Los trabajos relativos a esta aproximación se agrupan con el nombre de *hipótesis gravitatoria.* Es bien sabido que, salvo cuando se trata de describir la interacción gravitatoria entre dos cuerpos (problema de los dos cuerpos) no existe una solución puramente analítica del movimiento de un planeta o de un cuerpo en órbita sometido a la acción simultánea de otros varios (problema de los «n» cuerpos). Por ello los astrónomos buscan, a través de considerables manipulaciones algebraicas, simplificaciones que permiten obtener soluciones, al menos parciales, de estas ecuaciones. Un método eficaz consiste en partir de una solución expresamente simplificada (por ejemplo, con excentricidad o inclinación nula) que se afina progresivamente. Se habla entonces de «desarrollo en serie», ya que se trata de desarrollar, de descomponer la solución real (que se busca) en una suma de términos correctivos que dependen de un parámetro de pequeño valor (la excentricidad o la inclinación en los casos que nos interesan).

Este método a menudo eficaz tropieza aquí con dificultades específicas: los coeficientes de estos desarrollos contienen denominadores que se anulan precisamente en las resonancias e impiden por tanto, en definitiva, la obtención de una solución. Un razonamiento apresurado indujo a creer que los movimientos de los asteroides estaban prohibidos en una resonancia. Pero este resultado tan sólo muestra que los desarrollos en serie no son válidos matemáticamente en una resonancia (y, por otra parte, las acumulaciones del cinturón externo prueban claramente que los asteroides pueden permanecer en algunas resonancias).

Faltos de medios para acometer directamente las ecuaciones del movimiento, los especialistas en dinámica se han orientado una vez más hacia los experimentos numéricos para simular los resultados de las ecuaciones. Gracias a estas simulaciones, el astrónomo norteamericano J. Wisdom, del Instituto Tecnológico de Massachusetts (Estados Unidos) ha podido demostrar la existencia de una ancha zona caótica, o estocástica, alrededor de la laguna 3/1, que facilita sin duda la expulsión de los asteroides de esta zona.[4]

Hay que señalar que este resultado sólo se ha podido obtener a partir de una simplificación drástica de las ecuaciones del movimiento, utilizando una argucia inventada por el físico soviético Boris Cherikov para el estudio de la dinámica de los aceleradores de partículas. Sin embargo, la estocasticidad (desorden) por sí sola, que no implica *necesariamente* expulsiones fuera de la zona incriminada, es insuficiente para explicar la ausencia casi total de asteroides. Sin embargo, J. Wisdom cree que el aumento de la excentricidad puede permitir a los asteroides alcanzar la órbita de Marte, que tendría entonces un efecto desestabilizador, aunque es difícil evaluar con precisión la importancia de este fenómeno. Estos resultados que combinan métodos analíticos y numéricos han suscitado numerosos trabajos sobre esta materia a nivel internacional. Citemos entre otros, los estudios de los equipos belgas (Jacques Henrard y Anne Lemaître)[5] e inglés (Karl Murray).

Parece, por tanto, gracias a los recientes métodos numéricos, que la *hipótesis gravitatoria* (por resolución de las ecuaciones del movimiento) está bien situada para explicar las lagunas de Kirkwood. No obstante, esta explicación es tan compleja que es lícito preguntarse si estas lagunas no han existido sencillamente desde el principio: en este caso no habría por qué preguntarse cómo han podido aparecer a partir de una distribución inicial uniforme. En el marco de esta hipótesis *cosmogónica,* existirían desde el nacimiento del sistema solar y serían las zonas en las que los granos de polvo y los gases no pudieron aglomerarse para formar cuerpos más grandes.

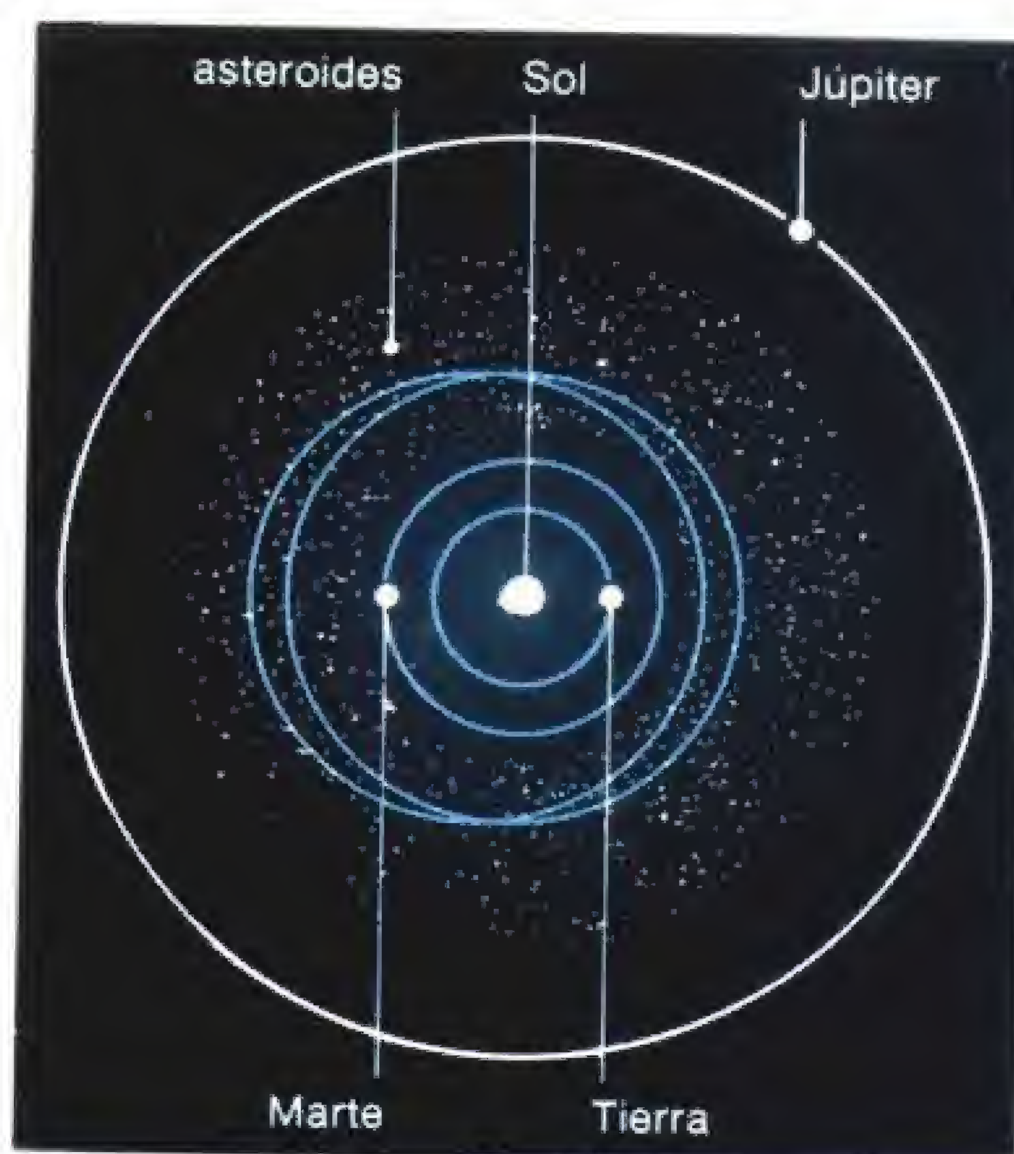


Figura 8. Una elipse se aleja tahto más de una forma circular cuanto más elevada es su excentricidad. Una trayectoria sencilla –circular o elíptica– sólo pasa por puntos de la órbita –una línea ficticia en el espacio– en los que la probabilidad de encontrar a otro asteroide es casi nula. Pero si esta órbita varía, pasando por ejemplo de una excentricidad de 0 a una de 0,2, como se indica en el esquema (para la resonancia 3/1), el asteroide barrerá una zona mucho mayor del espacio, aumentando mucho sus oportunidades de encontrarse con otro asteroide. Estos encuentros son invocados por los astrónomos que intentan explicar el origen de las características dinámicas de los asteroides.

Han sido propuestas diversas hipótesis para justificar por qué esta aglomeración no habría tenido lugar: según los trabajos de R. Gonczi y de Christiane y Claude Froeschlé del Observatorio de Niza,[6] los efectos conjugados de las fuerzas no gravitatorias (presión del medio interestelar, fuerzas debidas al viento solar) y de las resonancias habrían provocado una expulsión rápida de los granos de polvo fuera de estas zonas, granos que, por tanto, no habrían podido aglomerarse en asteroides.

Otra explicación posible, propuesta por M. V. Torbett y R. Smoluchowski[7] y desarrollada analíticamente por Anne Lemaître, es que Júpiter, al formarse, cambió rápidamente de masa. Las condiciones dinámicas se habrían modificado rápidamente en este periodo perturbando fuertemente el proceso de condensación en asteroides. Sin embargo, este escenario es muy contingente: si Júpiter se hubiese formado un poco demasiado pronto, una elongación prematura de las órbitas (por crecimiento de las excentricidades) habría impedido la condensación de grandes asteroides como Ceres; por el contrario, si Júpiter se hubiese formado demasiado tarde se habría debido llegar a un planeta.

De las cuatro hipótesis que acabamos de citar quedan dos en liza: la hipótesis gravitatoria y la cosmogónica. ¿Cómo elegir entre todas las soluciones propuestas? Ya que si hasta estos últimos años muchos artículos sobre las lagunas de Kirkwood no pretendían resolver el problema, ya no sucede lo mismo ahora que se ofrecen varias soluciones. El ordenador especialmente ideado para el estudio del sistema solar (en California) podría en un futuro próximo ser el arma decisiva que resolviera el problema.

La situación –todavía confusa– de la existencia de resonancias sencillas en el cinturón de asteroides parece que encontrará una solución en un futuro próximo, pero sigue abierto otro problema muy importante: el de los asteroides vagabundos.

¿Cómo viajan los asteroides?

¿Por medio de qué procesos físicos, asteroides como los de la familia Apolo (fig. 2) o meteoritos, que serían residuos de asteroides, pueden ser expulsados del cinturón y alcanzar las proximidades de la Tierra? Ha sido propuesto un mecanismo a partir de las resonancias sencillas. Supongamos que después de una primera colisión un pedazo de un asteroide entra en una resonancia. Por efecto de la dinámica propia de ésta, la órbita del residuo se alarga (es decir, la excentricidad de su órbita aumenta), pero este objeto permanece cautivo en la resonancia. Es necesario entonces que el residuo sufra una segunda colisión para que sea trasportado a una órbita que cruce la de la Tierra.

Se ve que este mecanismo es complicado y sin duda poco eficaz ya que

(4) J. Wisdom, *Icarus, 56,* 1983.
(5) J. Hernard, A. Lemaître, *Icarus, 52,* 1983. *51,* 1982.
(6) R. Gonczi, Ch. Froeschlé, C. Froeschlé, *Icarus.*
(7) M.V. Torbett, R. Smoluchowski, *Icarus, 44,* 1980. y *Astron. and Astrophys., 127,* 1983.

requiere al menos dos colisiones. El problema seguía pendiente hasta que nuevas simulaciones numéricas acaban de hacer patente la importancia a escalas de tiempo muchos más largas (del orden del millón de años) de otro tipo de resonancias: las resonancias seculares.

Las resonancias ordinarias han sido especialmente estudiadas ya que inducen fenómenos a escalas de tiempo relativamente cortas, del orden de 10^4 años. Sin embargo, los asteroides están sometidos a otras perturbaciones, llamadas seculares, que actúan durante tiempos del orden del millón de años. Los planetas, debido a sus atracciones gravitatorias mutuas que se añaden a la del Sol, ven evolucionar sus órbitas. Se observan variaciones lentas –también llamadas seculares (mucho más largas que los periodos de las órbitas)– de la forma o de la orientación de las órbitas. Sucede exactamente lo mismo con un asteroide.

Mientras una resonancia (ordinaria), entre Júpiter y un asteroide, se produce cuando sus periodos son conmesurables, la *resonancia secular* se define cuando son las duraciones (seculares) de las variaciones de las órbitas las que están en una relación conmensurable. Al igual que en el caso de las resonancias ordinarias, la repetición (pero en un tiempo mucho más largo) de la misma configuración geométrica implica un efecto gravitatorio acumulativo de las perturbaciones. A diferencia de las resonancias ordinarias, sólo en los períodos (o las posiciones) de las órbitas son afectados, todas las características que están sujetas a variaciones (incluida la excentricidad y la inclinación) intervienen en las resonancias seculares. El resultado es que se puede encontrar asteroides sometidos a estas resonancias a todo lo ancho del cinturón y no sólo en zonas muy localizadas. Los trabajos del astrónomo norteamericano J. G. Williams[8] demuestran que las órbitas de los cuerpos en resonancia secular pueden ser muy perturbadas. Estas perturbaciones de gran amplitud se traducen en importantes modificaciones de la excentricidad y de la inclinación. Simulaciones numéricas hechas en Niza, utilizando el ordenador «Cray» de Palaiseau, han mostrado muy recientemente que los asteroides situados en resonancias seculares tienen variaciones muy importantes de la excentricidad (de 0,60) así como de la inclinación (llegando hasta 20º). Las órbitas así perturbadas son, por tanto, totalmente distintas de las órbitas inciales, y pueden alcanzar la órbita de Marte, de la Tierra e incluso la de Venus. Las resonancias seculares también se revelan como un mecanismo posible para explicar el origen de los meteoritos: éstos serían fragmentos de asteroides, confirmando así las hipótesis adelantadas por J. G. Williams y su colega G. W. Wetherill en 1973 y 1979.[9] Estos resultados son interesantes ya que aunque la composición química de los meteoritos sugiere un origen asteroidal, faltaba un mecanismo de transporte para llevar los residuos de asteroides desde el cinturón hasta las proximidades de la órbita de la Tierra. Lo mismo sucede con el origen de los objetos Apolo-Armor cuyas órbitas cruzan la de la Tierra y que citábamos al principio de este artículo (sin embargo, no está excluido que al menos algunos de estos objetos o algunos asteroides del cinturón sean núcleos cometarios apagados; las observaciones realizadas en el cometa Halley por la misión Giotto han demostrado, con gran sorpresa por parte de los astrónomos, que el núcleo de este cometa parece ser muy carbonado, es decir parecido a los asteroides del tipo C).

En este estudio, está claro que no hemos pretendido tratar todos los problemas físicos y dinámicos de los asteroides. Algunos sólo se han tratado superficialmente o se han ignorado. El estudio de estos objetos, durante largo tiempo olvidado y negligido, suscita el interés de una comunidad internacional de investigadores sumamente activa. Además, en este artículo hemos intentado mostrar, en el caso de un problema bien planteado y delimitado –el efecto de las resonancias en la distribución de los asteroides– las direcciones en las que se efectúan las principales investigaciones. Una primera aproximación, con frecuencia utilizada en física es lógicamente imposible: ¡no se puede experimentar! Ni hablar de fabricar un pequeño sistema solar y mirar cómo evoluciona durante 4 500 millones de años (la edad estimada del nuestro). Por ello se han propuesto numerosas teorías e hipótesis. Lamentablemente, aunque cada una de ellas da una explicación parcial de uno u otro fenómeno, ninguna conduce a una explicación global de la estructura actual del cinturón de asteroides. Sin embargo, progresamos poco a poco hacia una solución del problema, gracias especialmente a un juego de ping-pong (dialéctico, dirían los filósofos) entre la teoría y la experimentación numérica. *«Everything should be made as simple as possible but not simpler»* A. Einstein. ■

(8) J.G. Williams tesis, Universidad de California, Los Angeles, 1969.
(9) J.G. Williams, G.W. Wetherill, *Astron. J., 78,* 1973.

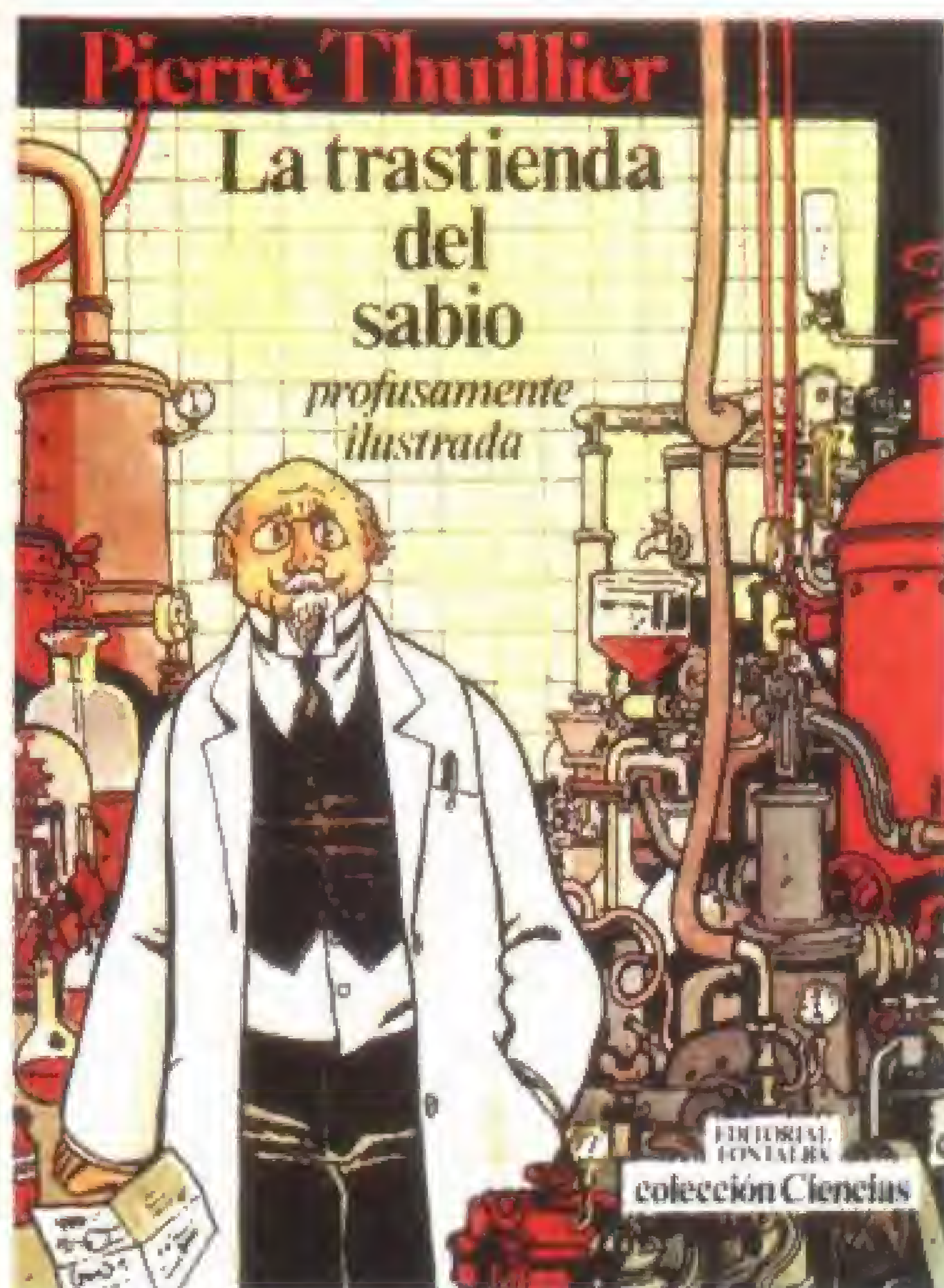
Para más información:

- Gehrels (ed.), *Asteroids,* University of Arizona Press, 1972.
- C.I. Lagerkvist, B.A. Limblat, H. Lundstedt y H. Rickman (eds.), *Asteroids, comets, meteors, I,* 1983 y *Asteroids, comets, meteors, II,* 1985, Uppsala University.

- Para una bibliografía más completa, véase la página 228.

colección Ciencias
LIBROS PARA LOS LECTORES DE MUNDO CIENTIFICO

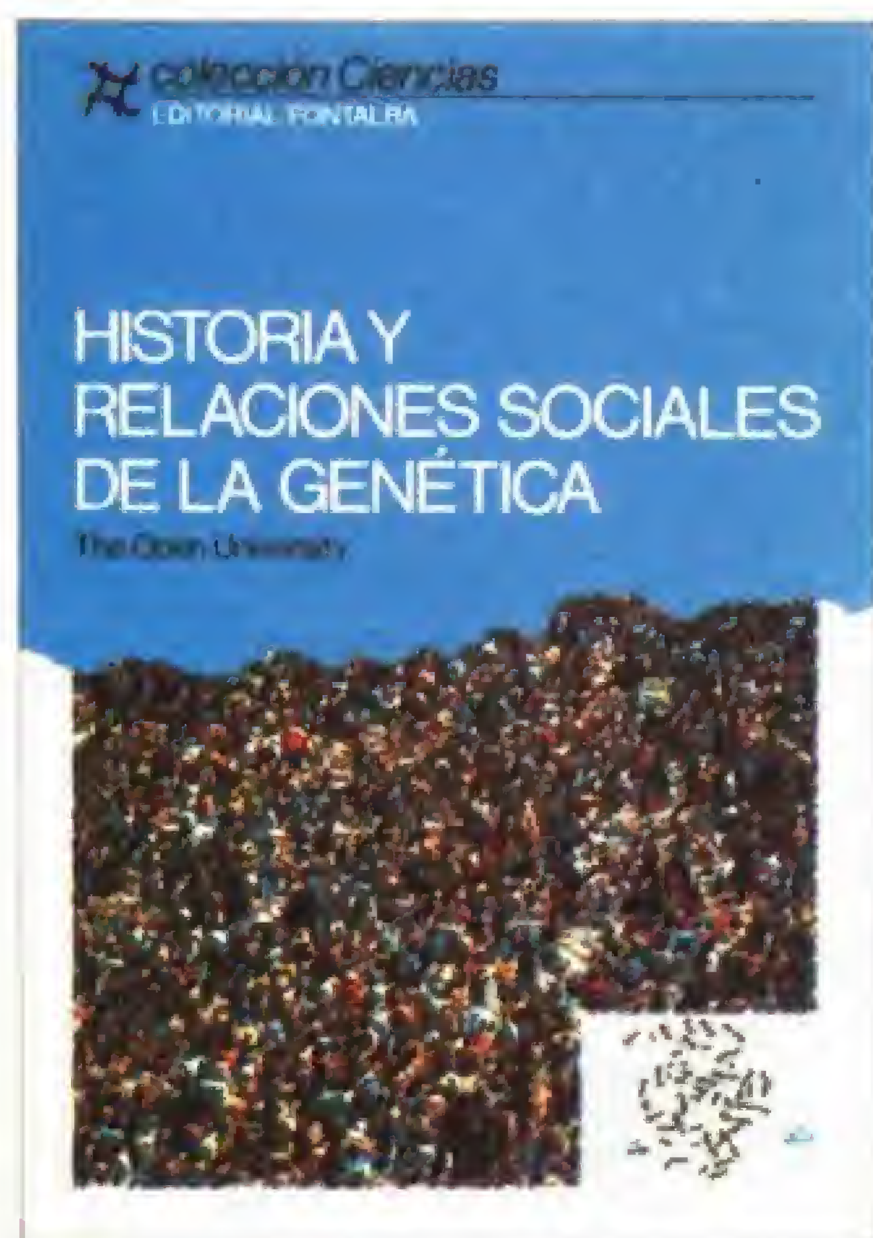
LA RECHERCHE, *versión en castellano*



LA TRASTIENDA DEL SABIO (Profusamente ilustrada)

¿Cuál es el significado social de la ciencia?
Pierre Thuillier hace una critica rigurosa sin olvidar la ironia ni la anécdota y plantea una de las más importantes cuestiones de este fin de siglo: ¿cuál es la finalidad de la ciencia?
Un libro apasionante, corrosivo y profusamente ilustrado.

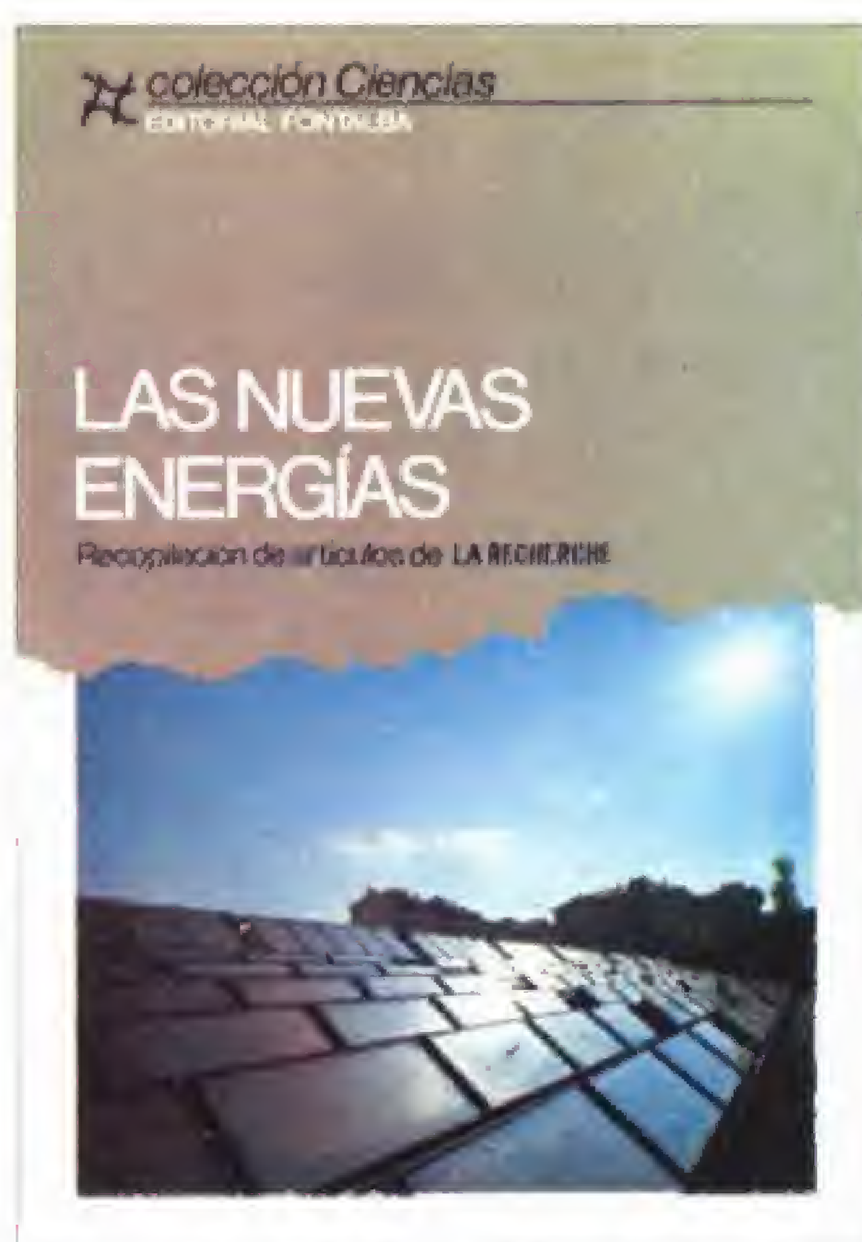
Formato: 29 × 21 cm – Páginas: 120 – Fotografias e ilustraciones.
P.V.P.: 1.100 ptas.



HISTORIA Y RELACIONES SOCIALES DE LA GENÉTICA

¿Por qué unas determinadas ideas cientificas o ciertas tecnologias surgen en un momento dado?
¿Cuál ha sido la relación entre la genética y la sociedad a lo largo de la historia?

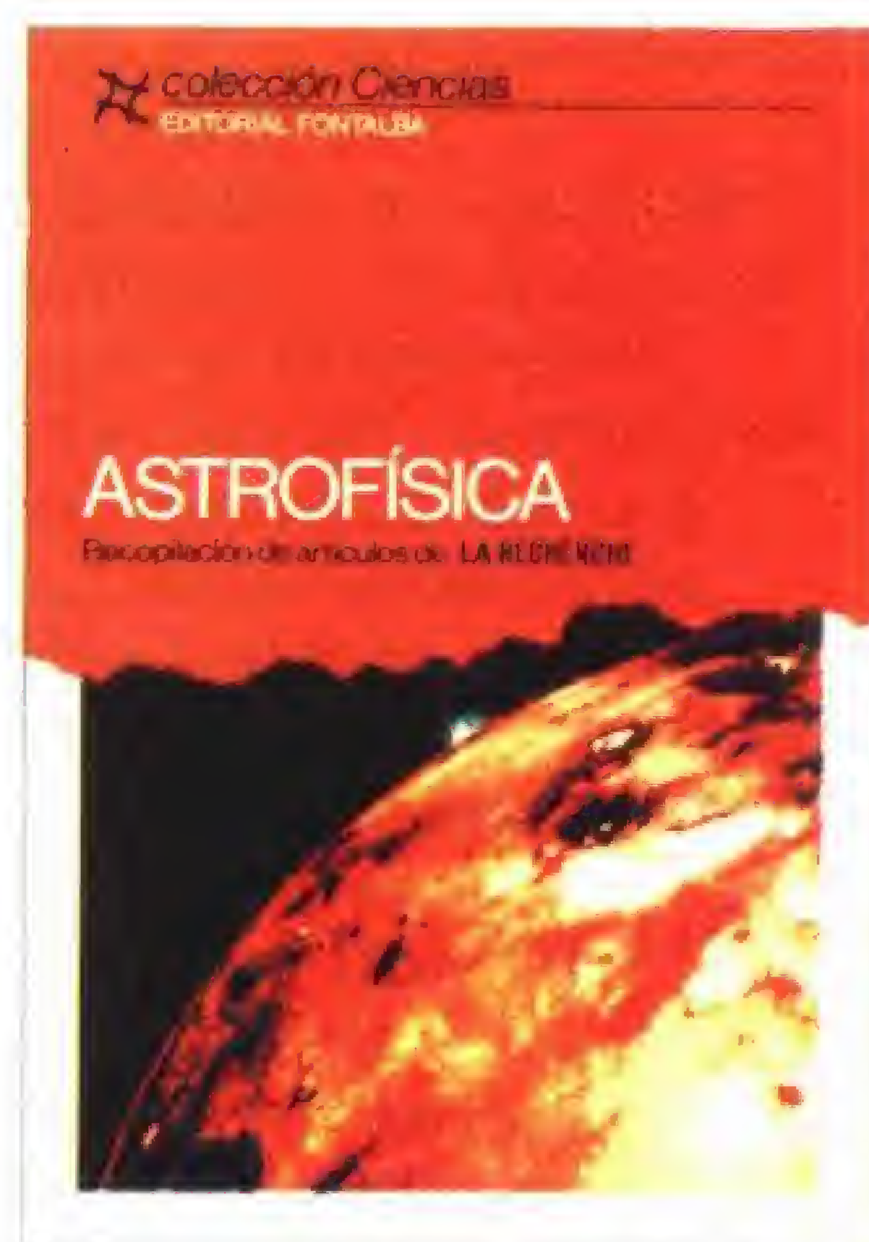
Formato: 21 × 14,5 cm – Páginas: 192 – Fotografias e ilustraciones.
P.V.P.: 600 ptas.



LAS NUEVAS ENERGÍAS

La crisis ha llevado a un desarrollo masivo de las investigaciones sobre las fuentes y los medios de producción de energias cada vez más diversas.
Los conocimientos y proyectos actuales de la investigación sobre las nuevas energias.

Formato: 21 × 14,5 cm – Páginas: 274 – Fotografias e ilustraciones.
P.V.P.: 950 ptas.



ASTROFÍSICA

Interdisciplinaria por naturaleza, la astrofisica es hoy un campo donde se cotejan y enriquecen mutuamente las disciplinas cientificas modernas. El balance de la investigación en astrofisica realizado por los mejores especialistas.

Formato: 21 × 14,5 cm – Páginas: 210 – Fotografias e ilustraciones.
P.V.P.: 950 ptas.

ENVÍE O COPIE EL CUPÓN-PEDIDO A Editorial Fontalba, s.a.

VALENCIA, 359 - 6.º
BARCELONA-9 (ESPAÑA)
TELS. (93) 258 55 07/258 55 08

CUPÓN-PEDIDO

Ruego que se sirvan enviarme los siguientes libros contrarrembolso (libre gastos de envio).

N.º Ejemplares	Titulo	Precio
	TOTAL	

Nombre ______________________

Domicilio ______________________

Población ______________ C.P. ______

Provincia ______________________

Cuyo pago efectuaré mediante:
☐ Talón bancario adjunto
☐ Contrarrembolso.

DOSSIER

Los daños inherentes a las tecnologías modernas no cesan de aumentar. Hasta tal punto, que actualmente los industriales ya no deberían ignorarlas si desean garantizar la seguridad de una instalación y respetar, a la vez, sus objetivos de producción. Por esto, algunos métodos matemáticos, puestos a punto hace varios años en unos sectores de actividad denominados «de alto riesgo» –el nuclear, el espacial, el aeronáutico– y reunidos hoy bajo el nombre de «análisis de riesgo», empiezan a conquistar otros sectores. Ya se están aplicando especialmente en la industria petrolera, que ha conocido ya numerosas catástrofes: Alexander Kjelland, Ekofisk son nombres que no se olvidarán. Por esto, la idea de prevenir los riesgos para intentar minimizarlos ha ido abriéndose paso. Los ejemplos que jalonan este artículo ilustran esta evolución. El análisis de riesgo no es una solución milagrosa: no porque se hayan realizado meticulosos estudios se eliminarán todos los peligros. Three Miles Island y Chernobil son un buen testimonio de ello... Pero se ha hecho indispensable para el diseño de sistemas a la vez seguros y rentables.

La previsión del riesgo tecnológico

por Jean-Pierre Signoret y Alan Leroy



Figura 1. La industria petrolera no se ha visto libre de catástrofes. A título de ejemplo citemos el vuelco, en mayo de 1980, de la plataforma Alexander Kjelland, que alojaba al personal de explotación del campo petrolero Ekofisk, en el mar del Norte, y que provocó la muerte de 123 personas. Los efectos de un accidente sobre su entorno pueden ser graves. En esta fotografía puede verse un buque de extinción de incendios que, a consecuencia de una erupción de crudo y de gas el 22 de abril de 1977, arrastra la plataforma Ekofisk-Bravo en el mar del Norte, a fin de evitar que prenda el fuego. La erupción no causó víctimas y pudo detenerse el 30 de abril; fueron 22.500 toneladas de crudo y 1,7 millones de metros cúbicos de gas las cantidades estimadas de hidrocarburos arrojados. Afortunadamente, no fue afectada ninguna costa. Citemos también una explosión, en 1984, producida en un módulo de tratamiento de gas situado en una plataforma del mar del Norte y perteneciente a la empresa norteamericana Occidental. Nadie resultó herido y tampoco hubo contaminación. En cambio, este accidente acarreó una pérdida de producción equivalente a seis millones y medio de barriles de petróleo durante los dos meses siguientes, por un valor de 14 mil millones de pesetas. El análisis de riesgo, desarrollado inicialmente, en los sectores de actividades de «alto riesgo» ha de permitir reducir al mínimo las ocasiones de que se produzcan tales accidentes. Las compañías petroleras comienzan a valorar su utilidad. (Foto Sygma.)



El hombre ha sido siempre tributario del buen funcionamiento de sus herramientas. En el transcurso de los siglos, primero los artesanos y después los ingenieros y los técnicos han mejorado progresivamente sus instrumentos de trabajo, sus materiales y sus sistemas; han intentado idear equipos con el mejor funcionamiento posible, es decir, equipos que garanticen la función que se les confía sin sufrir averías frecuentes y sin que pongan en peligro la seguridad de los usuarios. La «seguridad» y la «fiabilidad» han sido siempre preocupaciones constantes de los artesanos, de los ingenieros y de los técnicos. Durante mucho tiempo, su sola habilidad fue suficiente para satisfacer estas preocupaciones. Luego, al llegar la era industrial, la complejidad de los sistemas, así como los peligros de su utilización han ido aumentando sin cesar, lo que ha motivado la implantación de normas, reglamentaciones e instrucciones de uso. Hasta un pasado reciente, la aplicación de todas estas reglas, resultado de la experiencia adquirida y siempre en evolución, era suficiente garantía de un nivel de riesgo aceptable.

Pero hoy, la rapidez de los avances tecnológicos permite asegurar cada vez menos, por extrapolación de instalaciones ya existentes, si una nueva fábrica será segura y fiable. Ahora bien, teniendo en cuenta el tamaño y la complejidad de las instalaciones industriales, un fallo, por la gravedad de sus consecuencias, puede conducir a una catástrofe. De igual modo, una serie de fallos relativamente menores son capaces de impedir que una fábrica alcance los objetivos de producción previstos, acarreando con ello la ruina de la empresa propietaria por pérdida de los beneficios esperados. De esta manera, si bien todas las reglas y normas previstas constituyen siempre una guía indispensable para el diseño y la utilización de los equipos, cada vez va siendo más necesario completarlas en ciertas industrias con un estudio más sistemático. Este estudio se basa en métodos matemáticos de análisis global de los sistemas, llamados fiabilistas destinados a prever el comportamiento de cada sistema, tanto desde el punto de vista de la fiabilidad como la de la rentabilidad. Dichos métodos se desarrollaron inicialmente en los campos de actividad de «alto riesgo»: el nuclear, el aeronáutico y el espacial. Permiten «desmenuzar» los sistemas con el fin de poner de manifiesto sus posibles fallos y prevenirlos antes de que se traduzcan en accidentes o pérdidas de producción.

También la industria petrolera empieza a considerar el método fiabilista como un instrumento cotidiano, tanto en lo que concierne a la decisión como al diseño de nuevos sistemas. Porque, si bien es cierto que no es posible eliminar los riesgos inherentes a las actividades

Jean-Pierre Signoret, profesor de ciencias físicas, es especialista en análisis riesgo/fiabilidad de la sociedad Elf Aquitaine.
Alain Leroy es ingeniero ENSTA y responsable de los estudios «Análisis de riesgo» en la firma Total-CFP.

industriales, ya veremos cómo únicamente un enfoque fiabilista permite identificarlos, cuantificarlos y, finalmente, minimizarlos (fig. 1).

La fiabilidad al servicio de los militares y de las actividades nucleares

Al finalizar la primera guerra mundial, los especialistas en aeronáutica tuvieron la idea de comparar cuantitativamente los sistemas destinados a asegurar una misma función. Después de observar que los aviones bimotores y cuatrimotores estaban menos sujetos a averías que los monomotores, calcularon para cada tipo de aparato un «índice de fallo»: la relación entre el número de averías y el número de horas de vuelo. Sin embargo, fue necesario llegar hasta los años treinta para que estos índices de fallo, utilizados para comparar unos sucesos pasados, lo fueran también para hacer previsiones sobre sucesos futuros. Nacía una nueva teoría que pronto recibió el nombre de teoría de la fiabilidad.

Tomó gran impulso durante la segunda guerra mundial; el desarrollo de los misiles V1 por parte de los alemanes constituye un famoso ejemplo de estudio fiabilista. En efecto, las primeras series de estos misiles fracasaron: durante las pruebas, estallaban en la rampa de lanzamiento o caían en el Canal de la Mancha. El matemático Robert Lusser, a quien se convocó como experto, explicó a los responsables del proyecto que la resistencia de una cadena no podía ser superior a la de su eslabón más débil. En realidad, la fiabilidad de un conjunto de piezas utilizadas en cadena es siempre inferior a la de cada una de las piezas consideradas separadamente. La formulación matemática de esta propiedad se conoce con el nombre de teorema de Lusser: la probabilidad de éxito de una cadena de componentes es igual al producto de las probabilidades de éxito de cada uno de sus elementos. Así, las ideas de Lusser permitieron comprender que era indispensable localizar los puntos débiles de los misiles y mejorarlos. Así hecho, el índice de lanzamientos con éxito pasó de 0 % a 60 %.

Durante los años 1940 y 1950, el enfoque fiabilista fue ganando terreno, principalmente en las industrias aeronáutica, militar y nuclear. Así, el ministerio norteamericano de Defensa, al comprobar que el mantenimiento en buen estado de un dólar de equipo electrónico costaba dos dólares al año, comprendió que era necesario diseñar unos equipos ya fiables desde su origen. Pero los sistemas eran demasiado complejos y el comportamiento de sus componentes estaba regido por demasiadas variables para que la aplicación rigurosísima de los conocimientos de los ingenieros permitiera alcanzar niveles de éxito satisfactorios. A consecuencia de ello, cuando se pedían ofertas de elementos para equipos electrónicos, el ministerio norteamericano de Defensa imponía a los fabricantes una demostración de la fiabilidad de sus productos mediante ensayos de larga duración.

En los años 1960, la teoría de la fiabilidad fue utilizándose más y más para estudiar el buen funcionamiento de sistemas compuestos por equipos mecánicos, hidráulicos, eléctricos, etc. Pero los instrumentos de análisis puestos a punto para evaluar los sistemas electrónicos no podían aplicarse bien a otros tipos de equipos. Por tanto, se intentó desarrollar nuevos métodos. En esta época, H.A. Watson, de los laboratorios Bell, preparó el método llamado del árbol de fallos para evaluar la seguridad de los sistemas de tiro de los misiles Minuteman. Este método consiste en «retroceder» hasta las causas primarias de cada fallo posible, al modo en que obraría un detective en busca de los culpables de un crimen, es decir, aplicando un razonamiento deductivo. Gracias a este método fue posible describir los riesgos del funcionamiento de los sistemas complejos. Fueron muchas las industrias que utilizaron –y todavía utilizan– el método de Watson. La NASA, por ejemplo, lo aplicó desde el comienzo de los programas Mercury y Geminis.

A principio de la década de los setenta, N. Rasmussen,[1] de la U.S. Nuclear Regulatory Commission, y sus equipos de ingenieros realizaron el primer «análisis de riesgo» de centrales nucleares en su totalidad. Estudiaron un vasto espectro de accidentes que podían producirse en estas centrales, calcularon las probabilidades de coyuntura de los «escenarios» de accidentes y evaluaron sus consecuencias. El análisis se realizó principalmente con la ayuda del método del árbol de tallos y de otro método, llamado árbol de sucesos. Contrariamente al método del árbol de fallos el segundo se basa en una marcha inductiva que «desciende» de las causas a los efectos. Consiste en partir de un suceso crítico inicial, como una fuga de gas, para estudiar gráficamente la acción de sucesos críticos secundarios (inflamación o no de una nube de gas, detección o no de la fuga) sobre el desarrollo mismo de los hechos, y deducir de todo ello las posibles consecuencias. La metodología puesta a punto por Rasmussen sirvió –y sirve todavía en gran parte– para estudiar la seguridad de las instalaciones nucleares en el mundo.

Otra etapa importante fue el análisis de riesgo efectuado, en 1978, principalmente por el Comisariado de energía atómica de Gran Bretaña (el UKAEA: United Kingdom Atomic Energy Authority). Se pretendía evaluar los riesgos inherentes a la ampliación del complejo petroquímico de Canvey Island, situado en la orilla norte del Támesis, al este de Londres.[2,3] Por primera vez, un análisis de riesgo completo se efectuaba en una unidad no nuclear. Con él se puso de manifiesto que mediante ciertas medidas de seguridad accesorias, como la construcción de una segunda carretera de acceso, la ampliación del complejo no entrañaba un aumento notable de los riesgos. Los resultados se publicaron prácticamente en su totalidad. Los métodos empleados en este estudio fueron los que normalmente se aplican en la industria petrolera.

En lo que a Francia se refiere, los métodos de análisis fiabilista se utilizan sobre todo, y desde hace ya mucho tiempo de una manera intensiva, en todo el sector aeronáutico, como complemento de las normas de certificación de los aviones. Así, en los años setenta, la Aéropatiale desarrolló para su proyecto Concorde un nuevo método de análisis de la fiabilidad de los sistemas, denominado método de las combinaciones de averías significativas,[4] especialmente bien adaptado a sus problemas. Este método, aplicado sistemáticamente al programa Concorde y luego al programa Airbus, sin duda ha contribuido en gran medida al éxito técnico y a la elevadísima seguridad de estos aparatos.

Dentro del campo nuclear francés, tanto militar como civil, los métodos fiabilistas se han aplicado también desde comienzos de la década de los setenta. De manera especial, los promotores del programa electronuclear francés (reactores de agua presurizada e hipergeneradores han debido –y deben– afrontar una situación que jamás se había presentado en la historia: preconizan la utilización de una energía manchado por el «pecado original» de Hiroshima, y han tenido que demostrar que sus sistemas eran seguros, antes de construirlos. Se han puesto a punto unos medios técnicos –ordenadores y programas, formación de equipos de especialistas, etc.– tanto en el Instituto de protección y de seguridad nuclear del Comisariado de la energía atómica (CEA) como en Electricité de France (EDF) para estudiar, y luego reducir, el riesgo presentado por estas instalaciones.

Actualmente, las autoridades responsables de la seguridad tienden a exigir cada vez más el uso de métodos fiabilistas para evaluar la de las instalaciones industriales. De manera especial, y frente a lo que se denomina «riesgos mayores», tristemente ilustrados por los accidentes ocurridos en Seveso, Bhopal o Chernobil, la norma 82/501 de la CEE,[5] denominada norma post-Seveso, recomienda a los establecimientos que realizan actividades peligrosas, que efectúen estudios llamados de peligro o de seguridad. El análisis de riesgo es un instrumento de excepción para llevar a cabo a este tipo de estudios.[*]

Las compañías petroleras internacio-

(1) N. Rasmussen *et al.*, «Reactor safety study: an assessment of accident risks in US nuclear power plants», *WASH 1400-NUREG 75/013*, US Nuclear Regulatory Commision, 1975.
(2) *An investigation of potential hazards from operations in the Canvey Island – Thurrock area*, UK Health and Safety Executive, 1978.
(3) A second report, *A review of potential hazards from operations in the Canvey Report*. UK Health and Safety Executive, 1981.
(4) C. Lievens, *Sécurité des systèmes*, Cepadues Ed., Collection Sup'Aéro, 1974.

nales también realizan, como ya hemos dicho, estudios fiabilistas. Lamentablemente, en general los resultados son confidenciales. Sólo citaremos dos, realizados en los años ochenta.

Por una parte, Shell ha realizado un estudio con el fin de minimizar la frecuencia de intervención, a partir de un buque, sobre un conjunto de cabezas de pozos submarinos instalados en el mar del Norte; por otra, British Petroleum (BP) ha llevado a cabo otro, destinado a determinar cuál es el equipamiento mínimo que debería instalarse en una plataforma del mar del Norte para llegar a unos objetivos de producción previamente fijados.

Los petroleros franceses, a su vez, también han trabajado para adaptar los métodos a las necesidades específicas de sus respectivas industrias. Así, desde 1975, los métodos de análisis fiabilista ya fueron utilizados por la sociedad nacional Elf-Aquitaine dentro del marco del desarrollo del centro de producción submarina de Grondin-Nord-Est, en Gabón. En 1977, Total-Compañía francesa de petróleos (Total CFP) los incluyó en su proyecto «Producción en mar profundo». Los estudios se realizaron con la ayuda del Comisariado de la energía atómica-Centro de estudios científicos y técnicos de Aquitaine (CEA-CESTA). En 1982, Elf-Aquitaine, Total CFP y el Instituto francés del petróleo (IFP) lanzaron conjuntamente un proyecto de investigación sobre la seguridad y la fiabilidad de los sistemas petroleros. Su finalidad era adaptar los métodos de análisis fiabilista a los problemas específicamente petroleros y desarrollar unos nuevos métodos. En el momento actual. Elf-Aquitaine y Total-CFP poseen ya medios eficaces y de excelentes resultados en este campo.

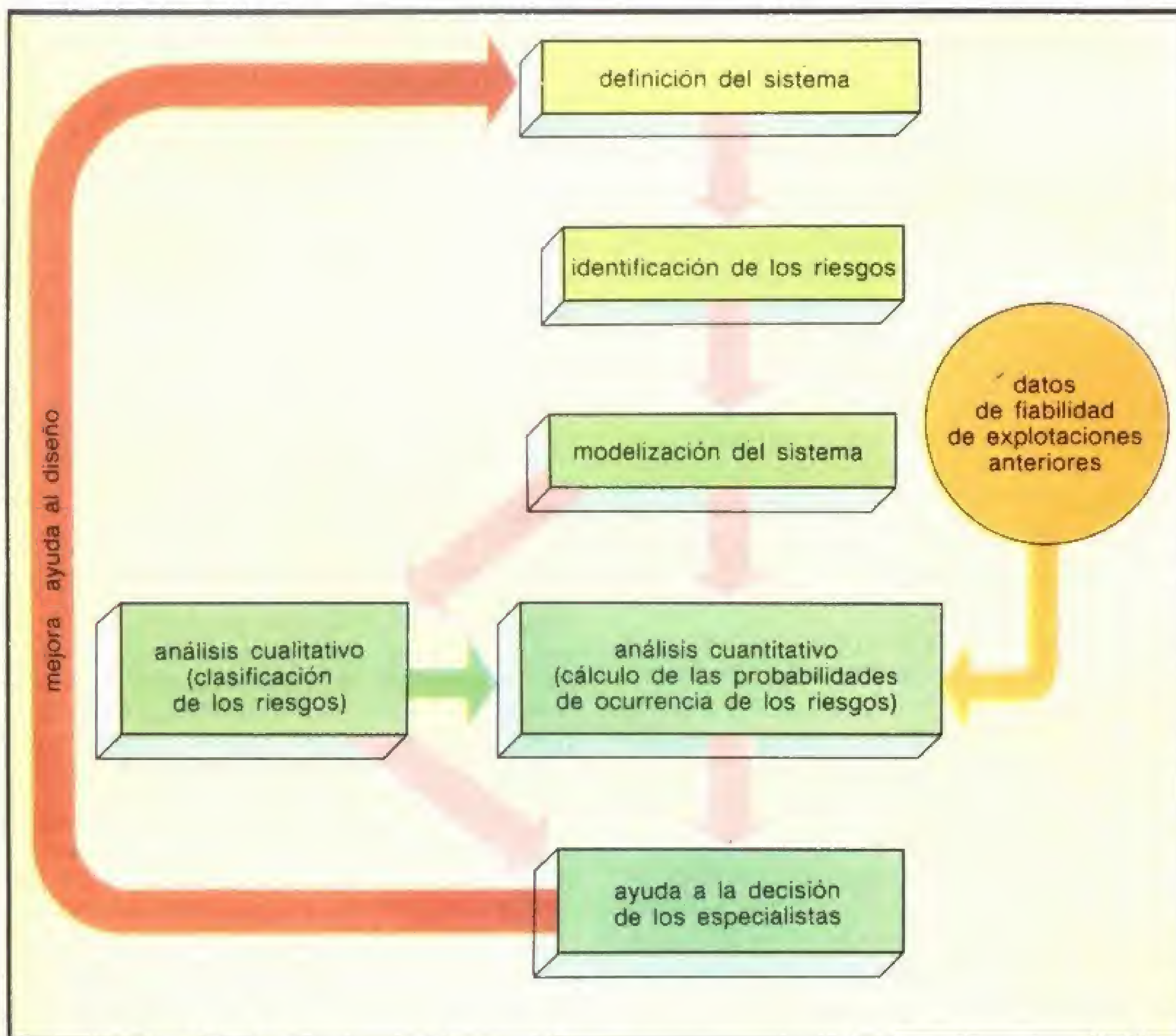


Figura 2. Todo análisis de riesgo, cualquiera que sea su campo de aplicación, comprende cuatro fases principales, esquematizadas en esta figura. La primera consiste en definir el sistema estudiado, especialmente sus objetivos de producción y de seguridad. A continuación es necesario establecer una lista exhaustiva de lo riesgos inherentes al sistema mediante métodos como el análisis llamado «de los modos de fallo de los componentes, de sus efectos sobre el sistema y de su criticidad» o AMDEC (véase texto). La tercera etapa consiste en poner en práctica unos métodos –denominados diagramas causas– consecuencias (fig. 4), árbol de fallos (fig. 3), procesos de Markov, u otros que permiten representar (o modelizar) la lógica del funcionamiento y de los fallos del sistema. Finalmente, el análisis propiamente dicho, cualitativo, cuantitativo, o los dos, consiste en evaluar, a partir de los modelos, la probabilidad de materialización de los riesgos previsibles. El enfoque cualitativo permite clasificar cada uno de los sucesos más temibles como «raro», «probable», etc., a partir, principalmente, del árbol de fallos. En cuanto al enfoque cuantitativo, de una estimación cifrada de la probabilidad de ocurrencia de los sucesos más temidos, a partir de unos datos de fiabilidad resultantes de la experiencia adquirida con los componentes de sistemas ya existentes. Estos dos enfoques permitirán a las personas que tienen poder decisorio optar por el mejor compromiso –calculado teniendo en cuenta la seguridad y la rentabilidad– frente a un determinado problema técnico (abajo). Pero, además, el análisis de riesgo constituye un poderoso medio de estudio de los sistemas nuevos. En efecto, desde la fase de diseño de una instalación, permite a los responsables del proyecto, si no suprimir los riesgos que presente dicha instalación, al menos prevenirlos y luego minimizar sus consecuencias mediante la modificación de las características inicialmente previstas para el sistema (flecha de color). El proyecto Skuld (véase texto), llevado a cabo por Elf-Aquitaine en 1980, demuestra a la perfección las ventajas de este proceso aplicado a la industria petrolera.

Los fiabilistas, verdaderos abogados del diablo

Estudio de disponibilidad, análisis fiabilista, estudio de seguridad, etc.; son muchas las expresiones empleadas para designar este tipo de estudios antes mencionados. A pesar de que no existe un término unánimemente reconocido, en la actualidad parece que el de análisis de riesgo es el más aceptado como genérico y que está arrinconando a los demás.

Cuando el ingeniero modifica los sistemas existentes o diseña otros nuevos supone implícitamente que estos sistemas funcionan de manera conveniente. El especialista de análisis de riesgo, por su parte, investiga preferentemente los eventuales fallos. El análisis de riesgo considera el universo aleatorio: tiene en cuenta los «futuros» posibles con el fin de favorecer la realización de la concurrencia de circunstancias más deseables. Al prever lo peor en vez de ignorarlo, lo que intenta es evitarlo. O, más exactamente: da unos resultados que permiten tomar decisiones con conocimiento de causa para mejorar la fiabilidad de una instalación.

Además, estas dos etapas –funcionamiento/fallo– son complementarias e indispensables para el diseño de sistemas que, a la vez, funcionen bien, sean rentables y no estén sujetos a incidentes o accidentes. Porque en nuestra época de especialización casi exhaustiva, los sistemas son desmenuzados en «fragmentos» estudiados por distintos ingenieros: el electrónico, el mecánico, el hidráulico, etc. De este modo, cada «fragmento» se diseña de la mejor manera posible, pero en el momento en que se intenta «pegar» los fragmentos para formar el sistema completo, los problemas aparecen. Entonces, los fallos suelen tener origen en combinaciones de defectos primarios diversos, con la inclusión, además, del error humano. Por consiguiente, en la etapa que ha de desarrollar el especialista, el análisis de riesgo ha de realizarse según un enfoque «de sistema», que considere el estudiado como un todo y no como la yuxtaposición de sus «fragmentos». Se demuestra matemáticamente que no por ser fiables todos los componenetes de un sistema, éste, en su conjunto, deba también serlo. La optimización del comportamiento de un sistema pasa, pues, por un estudio de conjunto del mismo. En suma, el enfoque del análisis de riesgo difiere, pues, del enfoque clásico del ingeniero en tres puntos fundamentales. En primer lugar, el riesgo nulo no existe; en segundo lugar, el universo es aleatorio; y, finalmente, el sistema se tiene en cuenta en su totalidad.

(5) Directive 82/501/CEE, Directive du conseil du 24 juin 1982 concernant les risques d'accidents majeurs de certaines activités industrielles.

(*) El congreso internacional «Reliability '87», organizado por el UKAEA y el IQA (Institute of Quality Assurance) tendrá lugar del 14 al 16 de abril de 1987 en Birmingham. En él se tratarán todos los temas que figuran en este artículo.

La industria petrolera no se halla libre de catástrofes.

Quien dice análisis de riesgo dice «análisis» y «riesgo»; si la aceptación del término «análisis» no plantea ningún problema de comprensión, no ocurre lo mismo con el de «riesgo»; que representa un concepto eminentemente subjetivo, porque abarca en realidad dos aspectos complementarios: uno de ellos vinculado al azar, es decir, a las posibilidades de que ocurra o no el siniestro, y el otro a las consecuencias, cuando el riesgo ya se ha materializado.

Para tener en cuenta estos dos aspectos, hemos adoptado una definición más amplia del riesgo.[6] Consideramos que el riesgo que caracteriza un suceso no deseado viene definido, a la vez, por la probabilidad de ocurrencia de tal suceso en el transcurso de una fase precisa de la vida de un sistema y por las consecuencias resultantes de la realización de este suceso. El primer parámetro mide las «oportunidades» que hay de que se realice el suceso no deseado. El segundo parámetro mide las «consecuencias» de tal suceso, que pueden ser extraordinariamente diversas: contra las personas (número de muertos y de heridos), contra el ambiente (volumen de producto dispersado) y contra los bienes (destrucción de materiales y pérdida de producción).

Por otra parte, en un mismo sistema pueden realizarse análisis que persigan objetivos distintos, en función del riesgo considerado; por ejemplo, la prevención de accidentes o la mejora de la productividad. Como pueden conducir a conclusiones distintas, es conveniente realizarlos en paridad para poner de manifiesto el mejor compromiso. Es decir, es preferible realizar en paralelo un estudio de seguridad y un estudio de mejora de la eficacia, con los mismos instrumentos, a fin de dar con carácter permanente los elementos técnicos y económicos más aconsejables a la persona que ha de decidir.

El riesgo nulo no existe

Dentro del restringido espacio de este artículo nos limitaremos a presentar los métodos empleados para estimar el primer parámetro del riesgo –la probabilidad de realización de un suceso temido–, y aplicados al sector petrolero, que conocemos bien. Los lectores interesados en una exposición completa del análisis de las consecuencias (toxicidad, fuego, explosión) podrían remitirse a la excelente obra de A. Lannoy, de EDF.[7]

El término «fiable» se ha puesto de moda desde hace algún tiempo, y se le ve aparecer cada vez con más frecuencia en los paneles publicitarios, en los que se le otorga una connotación de «buena calidad» y de escaso riesgo de averías. Desde hace varios años, ha quedado definido en este campo y de una manera rigurosa como la probabilidad de un sistema de garantizar sin averías una determinada misión durante una determinada duración.

Por otra parte, este concepto es indisociable de otro, también fundamental: el de la disponibilidad o, dicho de otro modo, la probabilidad de un sistema de funcionar correctamente en un instante determinado. Así, por ejemplo, en un vehículo automóvil, la fiabilidad mide las probabilidades que hay de poder utilizar dicho vehículo para efectuar sin indicentes un trayecto de una cierta longitud, y la disponibilidad de las probabilidades que hay de poderlo utilizar cuando se desee.

El término «fiable» de la publicidad reúne, en realidad, los dos conceptos que acabamos de exponer. En un análisis de riesgo es obligado separarlos, ya que afectan a problemas fundamentalmente distintos. Hay que tener en cuenta que la noción de fiabilidad va ligada a sistemas que no han de presentar ningún fallo durante su período de funcionamiento como, por ejemplo, los sistemas de vigilancia o de protección, los cohetes, etc. En cuanto a la noción de disponibilidad, va ligada a sistemas cuyo funcionamiento puede quedar interrumpido de vez en cuando debido a averías, sin que por ello quede afectado el éxito de su misión; es el caso de los sistemas de producción. Fiabilidad y disponibilidad son probabilidades y, por tanto, magnitudes cuantificables. Cualquier sistema, desde el mejor al peor, tiene pues una cierta disponibilidad. No obstante, decir en términos absolutos que un sistema es «fiable» o «disponible» es absurdo, ya que todo depende del objetivo que se haya fijado. Por ejemplo, un sistema que se estima suficientemente fiable para ser instalado en un vehículo, no siempre lo será, evidentemente, para funcionar en un avión o en un cohete.

Ya hemos dicho que el análisis de riesgo constituye un poderoso instrumento de ayuda a la decisión. Lo ilustraremos con un ejemplo. El campo de gas de Frigg, en medio del mar del Norte, está conectado a la terminal de Saint Fergus (Escocia) mediante dos gasoductos submarinos de 360 kilómetros de longitud y de más de un metro de diámetro. En caso de avería en una de estas canalizaciones, es necesario efectuar una reparación lo más rápidamente posible, a fin de minimizar las pérdidas de producción. Para evitar una eventualidad así, Total-Oil-Marine, filial británica de Total-RAS y operador de estos gasoductos, había mantenido permanentemente un sistema de reparación de urgencia de canalización submarina (EPRS: Emergency Pipeline Repair System) en este campo, desde 1980 a 1984. Un EPRS es un conjunto de reparación por soldadura hiperbárica, es decir, por soldadura a una presión superior a la atmosférica. Antes de renovar el contrato de alquiler del dispositivo, Total-Oil-Marine decidió estudiar su interés económico. ¿No era mejor movilizar unos medios de reparación, en caso de accidente, que mantener un EPRS en alerta permanente?

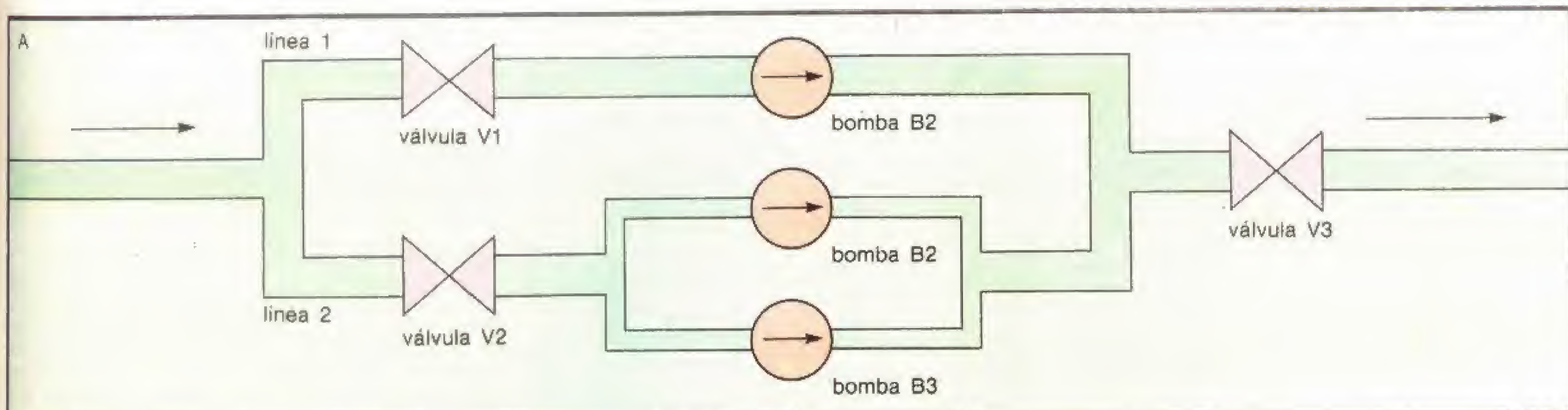
Es evidente que un fallo puede producirse en un oleoducto de una manera aleatoria. Por otra parte, el tiempo necesario para la movilización de un soporte flotante para el EPRS, así como la duración de la reparación, están sometidos al azar, al menos en parte. Únicamente recurriendo a un cálculo probabilista pueden conseguirse resultados correctos.

La modelización, es decir, la representación matemática del sistema en términos de probabilidades, se efectuó con ayuda de lo que los matemáticos denominan grafos de Markov, los cuales permiten tomar en cuenta cómodamente todos los parámetros útiles: el tiempo medio entre fallos, los diferentes modos de fallo, las duraciones medias de las reparaciones en invierno y en verano según los distintos modos de fallo, los plazos medios de movilización del soporte flotante en invierno y en verano, la duración de los ensayos de estanqueidad de los gasoductos después de la reparación (cuando es necesario) y, finalmente, las demandas del cliente de la Total-Oil-Marine, la British Gas

Figura 3. Después de indentificar los sucesos indeseables que pueden presentarse en un sistema, el especialista de análisis de riesgo puede construir lo que se llama un «árbol de fallos». Este modelo representa las relaciones de causalidad entre los sucesos más temidos (paro de la producción, incendio, etc.) y las combinaciones de sucesos primarios (fallo de un componente, un acontecimiento exterior, etc.) susceptibles de provocarlos. Pero, contrariamente a las modelizaciones inductivas como los diagramas causas-consecuencias (fig. 4), que «van de las causas a los efectos», este método deductivo consiste en partir de un efecto –un suceso temible concreto– y remontarse hasta sus causas –los sucesos primarios–. Consideremos, por ejemplo, el sistema de alimentación de agua esquematizado en A, en el cual la bomba B1 puede asegurar el 100 % del caudal requerido, mientras que las bombas B2 y B3 sólo aseguran un 50 % cada una. En este sistema, lo que se teme es sobre todo que el caudal suministrado sea inferior al requerido. El árbol de fallos (B) permite representar lógicamente (con Y y O) las combinaciones de sucesos primarios (en verde) y de causas comunes de fallo (en rojo) que pueden llevar a un descenso del caudal. Este tipo de modelización presenta muchas ventajas y, entre ellas, la posibilidad de representar sistemas complejos y completar el árbol a medida que un proyecto va avanzando. Constituye también una cómoda base de discusión entre especialistas. Por otra parte, permitirá realizar el análisis cuantitativo, última etapa del análisis de riesgo (fig. 2), es decir, calcular la probabilidad de ocurrencia de los sucesos primarios. Téngase en cuenta que estos sucesos primarios son estimables estadísticamente a partir de los resultados de explotaciones anteriores, lo que no ocurre con las probabilidades de los sucesos más temidos, cuya ocurrencia se espera por definición, que sea lo menos frecuente posible. Finalmente, gracias a los árboles de fallos, el especialista de análisis de riesgo podrá mejorar la fiabilidad del sistema optimizando la de sus componentes.

(6) *Terminologie en fiabilité-securité-sûreté-analyse de risque*. Documento común a IFP, Elf-Aquitaine, Total-CFP. 1983.

(7) A. Lannoy, «Analyse des explosions air-hydrocarbure en milieu libre». Estudios determinista y probabilista del escenario de accidente. Previsión de los efectos de sobrepresión. *Bulletin EDF, série A, n.° 4*, 1984.



B

caudal suministrado < caudal requerido

suceso indeseable que se considera

o

cierre intempestivo de V3

suceso primario

líneas 1 y 2 no disponibles

y

línea 1 no disponible

suceso que se está analizando

línea 2 no disponible

sentido del análisis

o

o

cierre intempestivo de V2

fallo de B2

fallo de B3

o

o

defecto de alimentación eléctrica

defecto del motor de B2

defecto del acoplamiento de B2

defecto de la bomba B2 propiamente dicha

defecto de alimentación eléctrica

defecto del motor de B3

defecto del acoplamiento de B3

defecto de la bomba B3 propiamente dicha

cierre intempestivo de C1

fallo de B1

o

causa común de fallo

defecto de alimentación eléctrica

defecto del motor de B1

defecto del acoplamiento de B1

defecto de la bomba B1 propiamente dicha

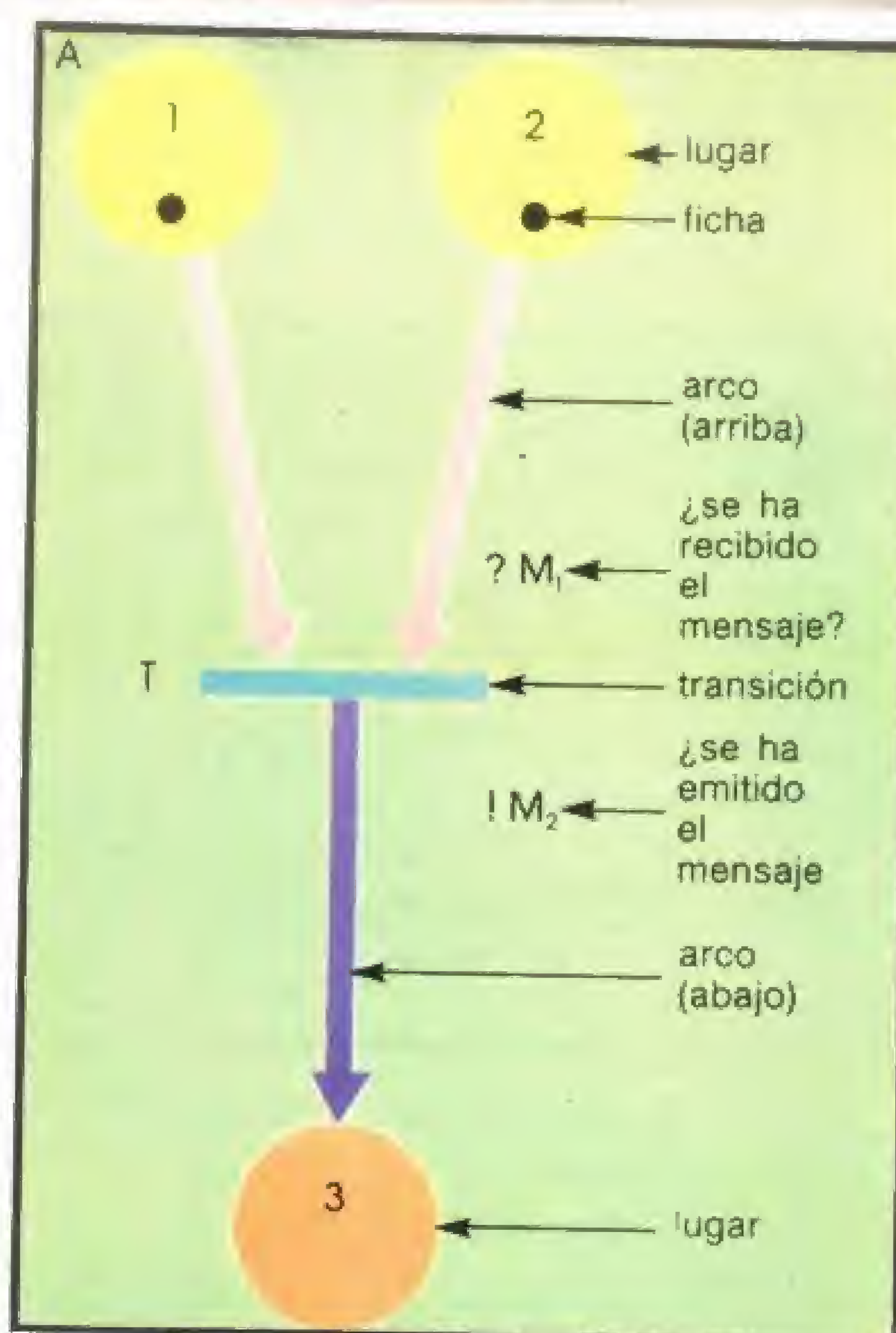
LAS REDES DE PETRI

La evaluación de la productividad de una estación submarina, situada en un ambiente hostil como el mar del Norte, necesita tener encuenta parámetros y mecanismos de funcionamiento complejos. La modelización por redes llamadas de Petri permite incluirlos de manera relativamente sencilla.

Las redes de Petri que utilizamos para la modelización del comportamiento de este tipo de sistemas se definen como estocásticas interpretadas. Formalmente están constituidas por «lugares», «fichas» en los lugares (destinadas a la «marcación» de los lugares), «transiciones», «mensajes» ligados a las transiciones y, finalmente, «arcos» que unen los lugares y las transiciones. Se utilizan varias notaciones: M̄(la negación del mensaje M) ,?M (que significa «¿se ha recibido el mensaje M?» y !M (que significa «se ha emitido el mensaje M»).

A la manera de un juego de azar, una red como esta evoluciona de acuerdo con ciertas reglas: sus estados son determinados por las marcaciones de los lugares y por el estado de los mensajes (¿son verdaderos o falsos los mensajes?); una transición es «válida» si todos los lugares por encima de esta transición están marcados y si el mensaje que tiene asociado es verdadero. Entonces tiene posibilidades de ser «efectuada». Por ejemplo, en el esquema A, la transición T puede «efectuarse» si el mensaje M1 es verdadero, puesto que los lugares 1 y 2 están marcados.

La realización de una transición cambia el estado de la red de Petri: se retira una ficha de cada uno de los lugares de arriba (lugares



1 y 2) y se añade una ficha en cada lugar de abajo (lugar 3) y ciertos mensajes se utilizan para sincronizar la realización de las transiciones, como se verá a continuación.

La red esquematizada en B correspondiente a una estación de producción submarina, y está dividida en tres subredes. La de la izquierda representa el comportamiento de la estación propiamente dicha (cuatro cabezas de pozo y una unidad de control-mando). La del centro corresponde a la movilización de un buque de intervención (necesario cuando en la estación se produce una avería, es decir, bien en uno o varios pozos, bien en la unidad central). La de la derecha es simplemente un calendario que permite determinar la estación en la que se está. Los lugares están numerados de derecha a izquierda y de arriba a abajo.

La evolución de estas subredes está sincronizada con la ayuda de tres mensajes: ¡M. Buq que significa, cuando es «verdadero», que se está en un período del año en la que es posible una reparación (y, por tanto, puede movilizarse el buque), ¡F. Buq que significa –siempre cuando es «verdadero»– que se ha producido un fallo en la estación, y ¡Buq. M, que significa que el buque ya se ha movilizado. En el instate t = 0, el sistema está en el siguiente estado (en amarillo): la estación está en perfecto estado (1 ficha en el lugar n.º 6), el buque no se ha movilizado (1 ficha en el lugar n.º 4), hace mal tiempo (1 ficha en el lugar n.º1). El resultado es que los tres mensajes de sincronización están en el estado «falso». A partir de este estado, sólo tres transiciones son «válidas» (en rosa): T1 (que representa el paso del mal tiempo al buen tiempo), T6 y T16 que corresponden respectivamente al fallo de un pozo y al de la unidad de control-mando de la estación. Con la ayuda de una simulación de tiradas de números al azar, se determina cuál de estas tres transiciones se producirá en primer lugar. Supongamos que sea T6. La «tirada» de T6 desencadena los siguientes acontecimientos: T16 es «inhibida», T9 y T7 (en malva) pasan

Corporation, según el período del año.

Gracias al programa de ordenador Mark-EXD, puesto a punto en 1982 por uno de los autores (J.P. Signoret), hemos podido calcular, según las épocas del año y para los cuatro años venideros, las pérdidas económicas que resultarían de un paro de la producción para cada una de las opciones: mantener o no mantener la EPRS. De este modo, pudimos demostrar que mantener el EPRS minimiza las pérdidas potenciales en conjunto de los años 1985 a 1986. Este cálculo económico ha contribuido a la decisión tomada por Total-Oil-Marine de mantener un EPRS en alerta.

Para explorar lo imprevisto...

Si se desea llevar a buen término un análisis de riesgo, son necesarios unos métodos, unos medios de cálculo y unos datos básicos. El análisis comprende cuatro fases, cualquiera que sea la industria estudiada (fig. 2): definición del sistema y análisis propiamente dicho (cualitativo y luego cuantitativo).

El primer problema que hay que resolver es precisamente el de... no equivocarse de problema. Por tanto, la primera fase consiste en trabar conocimiento con el sistema que hay que analizar: antes de investigar cómo puede averiarse, es necesario comprender cómo funciona. Para ello hay que reunir una documentación tan exhaustiva como sea posible, documentación que ha de incluir principalmente las reglamentaciones vigentes, así como los objetivos de producción y de seguridad. Esta etapa, que *a priori* resulta evidente, es en realidad extraordinariamente importante, ya que condiciona el desarrollo de todo el estudio y está orientada hacia la estimación de alcanzar, o no, los objetivos previamente fijados. Además, incluirá la definición técnica del sistema tal y como está realizado o previsto: esquemas de principio o planos detallados, explicaciones de los especialistas, etc. Finalmente, no hay que olvidar los procesos de instalación, de puesta en marcha y de explotación, los procesos y medios de intervención en caso de fallo o de incidente y la descripción del entorno del sistema.

La etapa siguiente consiste en identificar los riesgos presentados por el sistema, sobre todo cuando se trata de un sistema nuevo. También esta etapa es lógica: todo especialista conoce bien los riesgos de su especialidad, suele decirse. Pero, por nuestra parte, hemos podido apreciar que esto no siempre es absolutamente cierto: muchos especialistas interrogados dan una lista de riesgos, pero raramente es exhaustiva. Por tanto, se han desarrollado varios métodos que permiten identificar los riesgos. Provienen de un proceso inductivo, es decir, parten de unas posibles causas de fallo para llegar a las consecuencias. Se basan en una descomposición del sistema en subsistemas, componentes o funciones, a partir de la cual los modos de fallo, los elementos peligrosos y las desviaciones de cada parámetro de funcionamiento (temperatura, etc.) pueden ser identificados para, finalmente determinar las consecuencias sobre el sistema o los sistemas adyacentes.

En este campo puede citarse el análisis preliminar de los peligros[8] (Preliminary Hazard Analysis), el método HAZOP[9] (Hazard and Operability Study), y el método AMDEC[10] (análisis de los modos de fallo de los componentes, de sus efectos sobre el sistema y de su criticidad), generalmente más detallado que los anteriores.

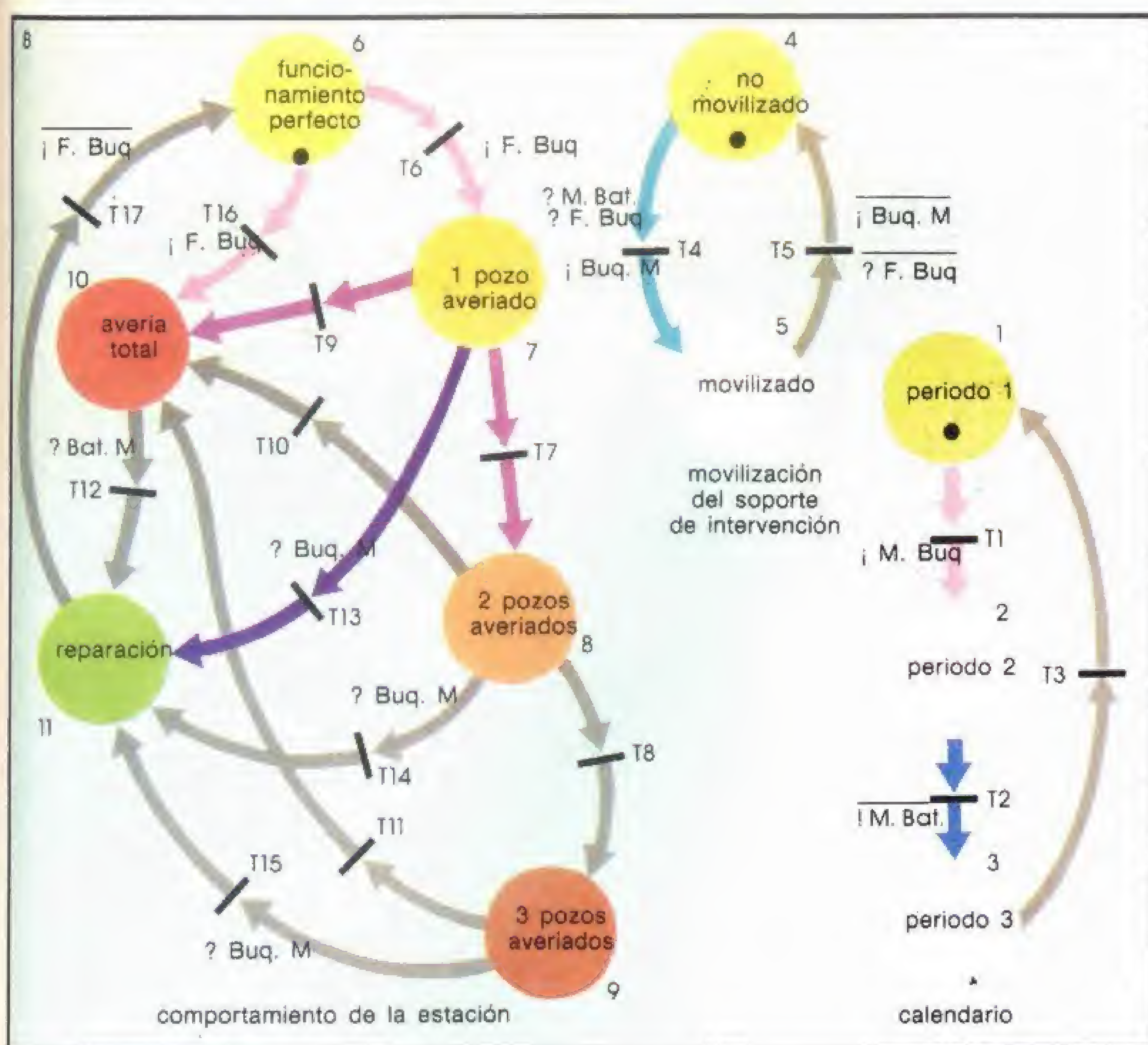
A pesar de todo, estos métodos, que consisten en llenar unos cuadros encolumnados, son extremadamente pesados porque los componentes del sistema presentan diversos modos de fallo que pueden tener también diversas consecuencias. En realidad, por el modo en que están concebidos, prácticamente no permiten tener en cuenta las combinaciones de fallos, y lo más frecuente es que se utilice de manera simplificada para identificar los riesgos y jerarquizar la gravedad de sus consecuencias. El interés principal de estos métodos estriba en su carácter global, ya que el sistema completo se revisa desde el punto de vista de los posibles fallos y de sus consecuencias.

... el especialista dispone de un sinnúmero de métodos

Después de identificar los riesgos que presenta el sistema y de elegir los más temibles, hay que proceder a establecer un modelo que represente correctamente los lazos de casualidad entre cada uno de estos últimos y unos sucesos primarios (fallo de un componente, un acontecimiento exterior, etc.). Porque a partir de las probabilidades de ocurrencia de los sucesos primarios, estimados estadísticamente según los resultados de explotación anteriores, se calculará la probabilidad de ocurrencia de los sucesos más temibles. (O, dicho de otro modo, a partir de los datos de fiabilidad de los componentes de sistemas ya existentes, se evaluará el riesgo que presentarán los nuevos).

Se han puesto a punto varios métodos de representación, en función de la naturaleza de los problemas observados. El más utilizado es el del árbol de fallos. Como ya hemos indicado ante-

(8) *System safety analytical technology. Preliminary hazard analysis Boeing, 1965.* (9) *A guide to hazard and operability studies.* Chemical industries association, UK, 1977.
(10) *Procedures for performing a failure mode, effects and criticality analysis.* US military standard 1269A 1980.



a ser válidas, se emite el mensaje ¡F. Buq (se hace «verdadero») y T1 permanece válido. Supongamos que la segunda transición tirada sea T1: entonces, T2 (en azul oscuro) se hace válida y el mensaje ¡M. Buq se hace «verdadero». Así, T4 (en azul claro) pasa a ser válida y el buque se movilizará una vez transcurrido el tiempo necesario para las operaciones de movilización.

Cuando se tira T4, el mensaje ¡Buq. M se hace «verdadero» y T13 (en violeta) se hará válido y se retirará inmediatamente (se supone que T3 tiene un retardo nulo). Es decir, la reparación de la estación va a empezar (una ficha en el lugar n.º11, en verde). Y así sucesivamente. El proceso sigue durante la duración elegida; de esta manera se obtiene una «historia» del comportamiento del sistema. Durante la simulación de esta historia, es fácil determinar parámetros de interés como, por ejemplo, el tiempo total durante el cual el sistema estuvo en estado de marcha (o sea de productividad), el número de veces que se movilizó el buque, etc. Simulando un gran número de estas historias, se obtiene una muestra que puede tratarse por los métodos estadísticos clásicos. Por referencia a la noción de juego de azar utilizada, esta simulación se llama «simulación Monte Carlo», que se ha utilizado mucho en los proyectos de diseños de submarinos.

Hemos desarrollado un programa de simulación Monte Carlo, basado en una modelización por red de Petri denominado Moca-RP. Este programa se ha implantado en un miniordenador. Ya lo hemos utilizado para calcular la producción media futura de un conjunto de cabezas de pozos submarinos de producción de hidrocarburos.

riormente, es deductivo y consiste en representar lógicamente las combinaciones de sucesos primarios que desembocan en la realización del acontecimiento indeseable (fig. 3). Sin embargo, el método del árbol de fallos no trata bien los sistemas cuya configuración es susceptible de cambiar durante su período de explotación. Por ejemplo, la evolución de los sistemas en los que, después de cada fallo (aparecido en momentos aleatorios), el elemento responsable es sustituido o reparado, es un proceso aleatorio (estocástico). En tales casos, el modelo más utilizado, ya que el más fácil de poner en práctica, es el proceso de Markov, ya mencionado.[11]

Finalmente, la representación de los sucesos susceptibles de producirse en el transcurso de una operación como, por ejemplo, un sondeo ha de tener en cuenta el orden y el encadenamiento de estos sucesos. El método gráfico de los diagramas causas-consecuencias,[12] emparentado con el árbol de sucesos de N. Rasmussen, pero que suele ser más cómodo de poner en práctica, permite representar este encadenamiento en caso de funcionamiento normal de los equipos, pero también elaborar la sucesión de acontecimientos en caso de fallo (fig. 4).

En la aplicación de los métodos que acabamos de citar, queda implícitamente supuesto que los sistemas o sus componentes tienen un comportamiento binario: bueno o malo, en avería o en estado de funcionamiento. En el campo petrolero, sin embargo, algunos sistemas pueden presentar unos estados intermedios entre el de funcionamiento perfecto y el de avería total, estados que también hay que tener en cuenta: se habla entonces de sistemas «multiestado». Es el caso, por ejemplo, de las instalaciones de producción petrolera que incluyen varios pozos. Si el comportamiento del equipo de un pozo puede considerarse binario (productivo o parado), la producción total de la instalación se presenta como una variable aleatoria que, durante el período de explotación, puede presentar varios valores comprendidos entre la producción nula y la producción máxima y, por consiguiente, tal comportamiento no puede ignorarse. Desde hace varios años, este problema ha sido estudiado por la asociación IFP/Elf-Aquitaine/Total-CFP, y ha dado lugar a la elaboración de un logicial (Mark-SMP para «sistemas multifase»), utilizado principalmente en los desarrollos submarinos, como la estación experimental de Skuld, en Noruega, que describiremos, y las cabezas de pozos submarinos de Alwyn Nord, en Gran Bretaña.

Por otra parte, algunos problemas pueden resolverse más fácilmente con la ayuda de modelos matemáticos específicos, o por lo que se denomina una simulación Monte Carlo. La simulación Monte Carlo es un método puramente númerico, utilizado en numerosos casos para calcular la probabilidad de realización de algunos sucesos a partir de la de sucesos primarios. En el sector petrolero, esta técnica se emplea desde hace poco tiempo en el campo del análisis de riesgo. Nos referiremos principalmente a un programa de ordenador, que escribimos en 1985, y bautizamos con el nombre de MOCA-RP (Monte Carlo-Redes de Petri), que simula la evolución de sistemas presentados con la ayuda de modelos particulares, las redes de Petri, bien conocidas en inteligencia artifical (encuadre). Entre otras cosas, nos sirve para calcular la eficacia de sistemas de producción de hidrocarburos en cabezas de pozos submarinos.

La elección de un método depende, evidentemente, del problema que se plantea y de la complejidad del sistema estudiado. A menudo se utilizan conjuntamente varios métodos para presentar de una manera correcta el comportamiento de un sistema.

La última fase del análisis –el análisis propiamente dicho– se efectúa a partir de modelos predictivos, desarrollados para representar la lógica del sistema. Este análisis puede ser cualitativo, cuantitativo, o ambas cosas a la vez. El análisis cualitativo se efectúa principalmente con ayuda del árbol de fallos (establecidos en la fase de modelización). Consiste en enumerar las diferentes combinaciones de sucesos primarios, o «cortes mínimos», que llevan al suceso indeseado que se estudia. Los cortes se clasifican luego según el número de sucesos primarios simultáneos que son necesarios para producir el suceso indeseado: un corte de orden 1 corresponde a un fallo sencillo; un corte de orden 2, a un fallo doble, etc. Como, en general, cuanto más bajo es el orden más elevada es la probabilidad de ocurrencia de corte, es posible poner de manifiesto los «caminos críticos» del sistema, es decir, los más susceptibles de acarrear los fallos más temibles.

Este análisis suele completarse con un análisis de modo común, que consiste en descubrir, para cada corte mínimo, la existencia de un suceso primario común que acarrearía todos los demás sucesos del corte: las fuentes de energía o los operadores humanos son modos comunes que frecuentemente se ponen de manifiesto.

El análisis cualitativo, realizable «a mano» en sistemas simples, necesita el empleo de medios informáticos cuando

(11) E. Cinlar. *Introduction to stochastic processes.* Prentice Hall, 1975.

(12) D.S. Nielsen. *The cause-consequence diagram method as a basis for quantitative accident analysis.* A. E.K. Riso. Dinamarca, 1971.

Actualmente, el ordenador permite simular secuencias de accidentes.

se trata de sistemas complejos, como una plataforma de producción en el mar.

Una vez finalizada esta primera fase, el análisis cuantitativo, permite calcular la probabilidad de ocurrencia de los sucesos indeseables. Aplicable a continuación de la mayoría de los métodos de análisis ya citados, exige con frecuencia la utilización de programas informáticos. Su interés depende de la validez de los datos de fiabilidad de los sucesos primarios, cuyas fuentes veremos un poco más adelante.

De la teoría a la práctica

En el campo petrolero, el proceso del análisis de riesgo se ha puesto a menudo en práctica para el desarrollo de los sistemas de producción submarina. Tomemos un ejemplo: al lado de los grandes campos de hidrocarburos suele haber unos campos mucho más pequeños, llamados campos marginales, cuya explotación en el mar sólo podría ser rentable utilizando al máximo la infraestructura ya instalada en los campos principales. Para ello, las compañías petroleras van orientándose cada vez más a la colocación de instalaciones de producción submarina que incluye uno o varios pozos productores, unidos a las plataformas del campo principal mediante conducciones adecuadas y telecontroladas desde estas mismas plataformas.

La puesta a punto de estas instalaciones de producción submarina origina numerosas dificultades, derivadas sobre todo de su sistema de control-mando, muy complejo, así com de su situación –en el fondo del mar– en un entorno muy difícil. Los problemas que suelen presentarse pueden compararse a los de la tecnología espacial: la reparación de un componente de precio insignificante exige disponer de unos medios muy costosos –buques de intervención, levantamiento de los equipos, intervención de buceadores, etc.– de la misma manera que la corrección de un defecto de un satélite sólo puede realizarse con la ayuda de un vehículo espacial.

Por este motivo, en 1980, Elf-Aquitaite lanzó el proyecto de estación experimental Skuld (fig. 5) conjuntamente con Norsk Hydro, Statoil y Total-CFP. El principal objetivo de este proyecto era llevar este tipo de instalación a niveles de productividad y de seguridad compatibles con una explotación industrial difícil en el mar (véase «Las plataformas petroleras en el mar», en nuestro número de mayo de 1985). Teniendo en cuenta los problemas que acabamos de mencionar, se decidió emplear los métodos de análisis de riesgo, por lo que un especialista en esta materia quedó integrado en el grupo de estudio desde la fase de anteproyecto. Como se trataba de realizar un sistema que a la vez fuera, seguro y rentable, ya

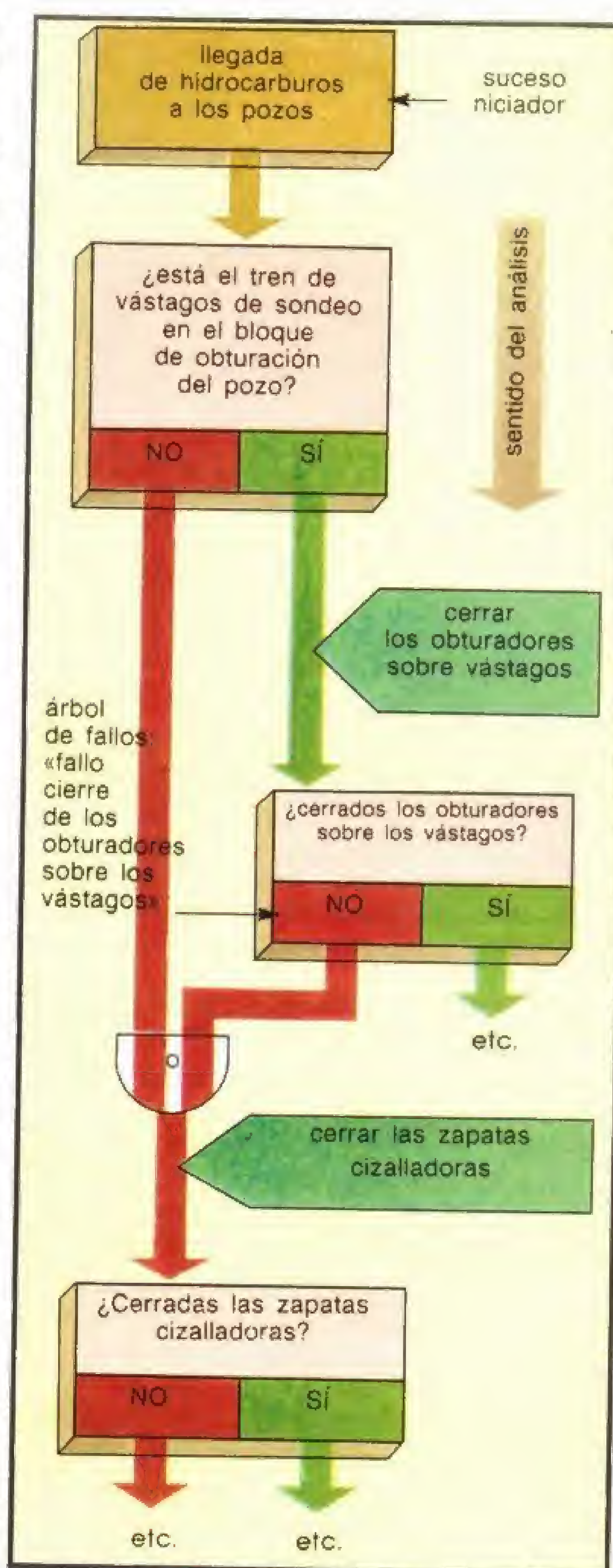


Figura 4. La modelización –tercera fase de todo análisis de riesgo (fig. 2)– debe tener en cuenta, además de los fallos posibles de un sistema, el orden y el encadenamiento de todos los sucesos que pudieron producirse en dicho sistema. Los diagramas causas-consecuencias permiten representar aquel encadenamiento. En la figura, se han esquematizado las primeras etapas de la tentativa de dominar una «llegada» de hidrocarburos a un pozo (arriba). En este pozo, se ha colocado un «bloque de obturación», dispositivo destinado a cerrarlo para que la llegada (suceso iniciador) no se transforme en erupción. Se ve, por ejemplo, que para evitar la erupción incontrolada de hidrocarburos cuando el tren de vástagos de sondeo está en el pozo, hay que proceder, en primer lugar, a poner en funcionamiento el cierre de lo que se llaman los obturadores sobre los vástagos (a la derecha). Sin embargo, si esta operación fracasa, el cierre de las mordazas cizalladoras (abajo) debería permitir que se cortara el tren de vástagos y obturar el pozo. El fallo de los obturadores sobre los vástagos puede ser analizado, a su vez, mediante un árbol de fallos (fig. 3), simbolizado a la izquierda del diagrama. Por otra parte, cuando el tren de vástagos de sondeo no se halla en el interior del pozo, basta cerrar directamente las zapatas cizalladoras (trazo vertical en rojo). Como el tren de vástagos no puede estar simultáneamente en el interior del pozo y fuera de él, los dos posibles caminos son exclusivos, lo que está simbolizado por el operador lógico O. Por tanto, este método permite representar a la vez el desarrollo normal y el anormal de la operación.

se fijaron desde el inicio del estudio unos objetivos de seguridad, productividad y «mantenibilidad» (facilidad de mantenimiento). En cuanto a la seguridad, se decidió que la probabilidad de una erupción incontrolada de carburos gaseosos debía ser inferior a 10^{-4}, mediante unos ensayos periódicos efectuados, a lo sumo, una vez al año. En lo que se refiere a la productividad, quedó decidido que cada pozo, así como la unidad de control-mando, tenían que funcionar satisfactoriamente durante cinco años, al menos. (En términos técnicos, esto significaba que «los tiempos medios de buen funcionamiento –MTBF: en inglés, «mean time between failures»– tenían que ser, al menos, iguales a cinco años). Finalmente, al estudiar el mantenimiento, se juzgó que la probabilidad de fracaso de cada una de las conexiones automáticas efectuadas durante una reparación no podía sobrepasar el 1 %. Además de estos objetivos cifrados, fueron tenidos en cuenta algunos de los grandes principios de funcionamiento como, por ejemplo, el principio llamado «fail safe» para las válvulas de seguridad (es decir, la puesta en posición de seguridad en caso de fallo de su fuente de energía), el principio de redundancia (duplicación de las funciones críticas del sistema), el principio de modularidad y de reparación con recambio normalizado, etc.

A medida que avanzaba el estudio del sistema, el especialista del análisis de riesgo comprobaba que los objetivos y los principios eran respetados, y guiaba las elecciones de los especialistas de las otras disciplinas, realizando estudios comparados de diversas soluciones o descubriendo los puntos débiles de las ya previstas. La contribución del análisis de riesgo se manifestó en otras ocasiones, especialmente en la elaboración de los programas de ensayos, la especificación de las características técnicas de las instalaciones o en la verificación de estudios efectuados por el proveedor del sistema de control-mando.

La mayoría de los métodos apuntados en este artículo fueron aplicadas. Las probabilidades de realización de los sucesos primarios fueron calculadas a partir de los resultados de explotación de la estación de producción submarina de Grondin-Nordeste y de la recogida de datos facilitados. En conjunto, los objetivos inicialmente fijados y que prevalecieron como punto de mira durante todo el desarrollo del estudio fueron mantenidos. A partir de los modelos predictivos, el tiempo medio de buen funcionamiento de los pozos de Skuld se estimó en 3,7 años, el de la unidad de control-mando en 6,9 años, y la probabilidad de erupción incontrolada en 2,8 10^{-5} para la totalidad de la duración de explotación del campo prevista (5 años). Por último, teniendo en cuenta la mantenibilidad del sistema, la productividad se cifró en 87 %. El pro-

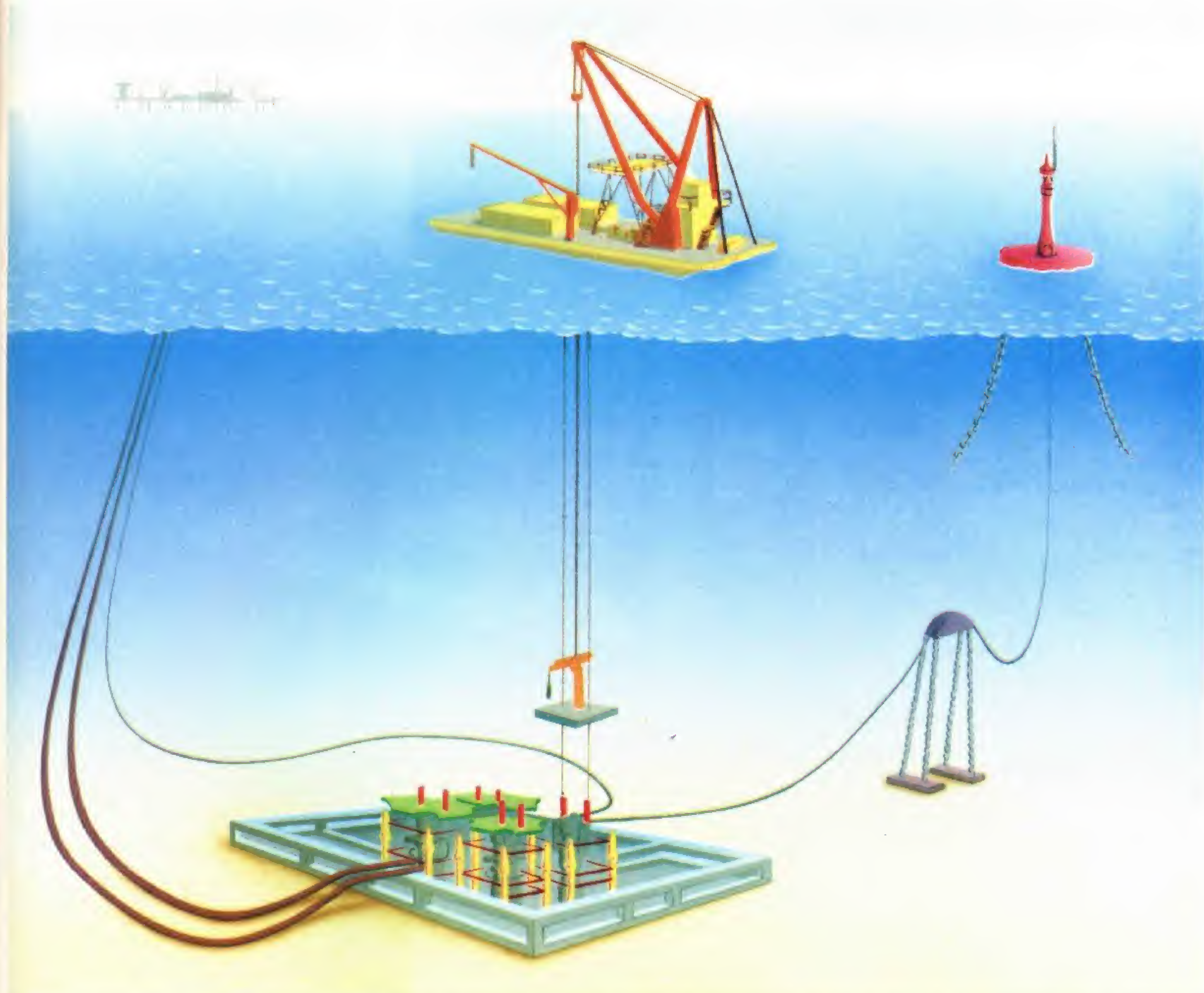


Figura 5. Para que sea eficaz, el análisis de riesgo debería aplicarse al diseño de sistemas ya desde la fase de anteproyecto. Así se hizo en el proyecto de la estación petrolera experimental Skuld, promovido por Elf-Aquitaine en 1980: un ingeniero fiabilista quedó integrado en el grupo de estudio.
La finalidad del proyecto Skuld era demostrar la posibilidad de colocar y reparar, sin el concurso de buceadores, una estación satélite de producción submarina de hidrocarburos en mar profundo, controlada y dirigida desde una estación principal a 30 km de distancia, y hacerlo con una fiabilidad suficiente durante un largo período de tiempo.
El proyecto Skuld inicial es el que se representa en este dibujo. Incluye una plataforma submarina que lleva las cabezas de los pozos (abajo), una plataforma principal (arriba, a la izquierda) desde la que se controla la plataforma submarina, una barcaza (arriba, en el centro) que permite instalar y reparar la plataforma satélite, y una boya (a la derecha) que, en caso de rotura del «umbilical» de comunicaciones con la plataforma principal –cable compuesto electrohidráulico– permite asegurar una comunicación por ondas hertzianas (esta boya no se construyó durante la realización del proyecto). En este dibujo, se estaba efectuando la instalación del robot Com, diseñado por Elf-Aquitaine. Este robot estaba destinado a llevar a cabo las conexiones submarinas. Las grandes tuberías visibles a la izquierda, por encima del umbilical, son las que permiten principalmente la evacuación de los hidrocarburos hacia la plataforma principal. La contribución del análisis de riesgo se manifestó muchas veces a lo largo del estudio: guió la elección de los especialistas de las otras disciplinas implicadas frente a los problemas técnicos planteados y puso de manifiesto los eventuales puntos débiles de las soluciones previstas. Posteriormente, el proyecto Skuld se experimentó con éxito.

yecto Skuld fue experimentado con éxito a partir de 1984, a 100 metros de profundidad, en un fiordo noruego. Hoy un segundo proyecto, que lleva el nombre de Superskuld, prevé ampliar este experimento en 1987, con una operación mar abierto a 300 metros de profundidad.

Como ya hemos visto, la probabilidad de que sobrevenga un suceso temible se obtiene con un cálculo en el que intervienen los sucesos primarios susceptibles de acarrear el suceso temible. Nos queda, pues, un último punto por abordar: el del cálculo de las probabilidades de ocurrencia de los sucesos primarios. En efecto, si un análisis cualitativo detallado aporta unas informaciones muy valiosas sobre el funcionamiento de un sistema, la finalidad de un análisis de riesgo es la de la cuantificación. Evaluar un riesgo en términos de «probable» o de «raro» tiene muy poco interés.

Para estimar las probabilidades de los sucesos primarios, pueden utilizarse diversas fuentes. En primer lugar, los resultados recogidos y establecidos por otras industrias: publicaciones militares norteamericanas *(Military Habdbooks)*, del CNET (Centre national d'études des télécommunications), CASH 1400 (el informe Rasmussen), etc., que aportan datos de fiabilidad de un gran número de componentes. No obstante, a pesar de ser del mismo tipo, los componentes empleados en la industria petrolera son sensiblemente distintos a los que han servido para establecer aquellas estadísticas, y se utilizan en condiciones diferentes. Por tanto, estos datos de fiabilidad han de emplearse con precaución. En realidad, sólo los que se refieren a los componentes electrónicos son verdaderamente representativos.



También son numerosos los datos recogidos por la propia industria petrolera. En este sector se han emprendido varias acciones, especialmente el proyecto OREDA de recogida de datos de fiabilidad en plataformas marinas en Europa. OREDA acabó provisionalmente en 1985 con la edición de un libro en el que se daban datos sobre 150 equipos;[13] fue totalmente financiado por ocho operadores petroleros en el Mar del Norte: Agip, BO, Elf-Aquitaine, Norsk. Hydro, Saga, Shell, Statoil y Total-CFP (a los que, a finales de 1985, se unió Mobil).

Finalmente, Elf Aquitaine y Total-CFP poseen datos internos, es decir, estadísticas efectuadas sobre los componentes que nosotros utilizamos. Constituyen la fuente más válida cuando se trata de calcular la fiabilidad de componentes específicamente petroleros. En realidad, estos datos no interesan tán

Figura 6. El análisis de riesgo demostró su utilidad durante la preparación de la campaña de sondeo de los pozos denominados GLP1 y GLP2 en el Mediterráneo profundo, campaña llevada a cabo por la asociación de Total-CFP/Elf-Aquitaine/Esso, en 1981. Con ella, se pudo evaluar la probabilidad de ocurrencia de un suceso grave –la pérdida de lo que se llama un «tubo prolongador»– mediante un cálculo puramente teórico (véase texto). El tubo prolongador conecta el buque de sondeo a la cabeza del pozo, fija en el fondo del mar. En el interior de este tubo gira el tren de sondeo. Las fotografías representan el buque «Discoverer Seven Seas», encargado de realizar el proyecto (A), y la instalación del tubo prolongador (B, C). La pérdida del tubo acarrea un paro forzoso de las operaciones. ¿Era o no era necesario disponer de un tubo prolongador de recambio? El análisis de riesgo permitió llegar a la conclusión de que esta precaución era necesaria. Este resultado teórico quedó confirmado en la práctica de una manera completamente fortuita: precisamente en aquella época, el «Discoverer Seven Seas» perdió su tubo prolongador en el Adriático, en el transcurso de su decimocuarto sondeo. El análisis de riesgo constituye, pues, un poderoso medio auxiliar para la decisión cuando no se dispone de ningún resultado de explotación sobre el que basarse. (Fotos Total-CFP.)

(13) *Oreda handbook*, publicado por los autores, Ed. by Veritec, Noruega, 1985.

sólo a los fiabilistas, sino también a los servicios de ingeniería, de mantenimiento, de producción, etc., y constituyen una parte importante de los conocimientos que ha de tener un operador. En nuestras compañías disponemos de estos bancos de datos.

Cuando no se dispone de resultados de explotación anteriores, se puede utilizar la opinión de un experto, cuya aplicación sistematizada se conoce con el nombre de método «Delphi», para estimar los órdenes de magnitud de las probabilidades que se buscan. Este método consiste fundamentalmente en interrogar a los especialistas de los sectores técnicos afectados sobre la frecuencia de ocurrencia de los sucesos primarios ya manifestados y efectuar un cálculo estadístico sobre el conjunto de sus respuestas. Para que los resultados sean estadísticamente significativos, es necesario que el número de expertos interrogados sea suficiente (alrededor de veinte) y que sus respuestas se produzcan de manera independiente.

El método Delphi se empleó en la preparación del sondeo denominado GLP1, a 1.714 metros de profundidad (en aquel momento, la plusmarca mundial) en el Mediterráneo francés, y fue lanzado por la asociación de Total-CFP/Elf-Aquitaine/Esso en 1981-1982 (fig. 6). Asociado al método del árbol de fallos, permite calcular la probabilidad de pérdida de lo que se llama un tubo prolongador. Téngase en cuenta que, a diferencia del caso del EPRS descrito anteriormente, no se disponía de ningún dato estadístico sobre explotaciones en curso para evaluar esta probabilidad.

Un tubo prolongador (o «riser») conecta el buque de sondeo a la cabeza de pozo fija en el fondo del mar. Se trata de un gran tubo de acero en el interior del cual gira el tren de vástagos que pone en movimiento el trépano en el suelo (fig. 6). El diámetro exterior del tubo, prolongador previsto para el sondeo en el Mediterráneo era de unos 47 cm. Los lodos de sondeo, esenciales para dominar la presión de capas de los hidrocarburos hallados y para la realización del propio sondeo, desciende por el interior del tren de vástagos y ascienden por el tubo prolongador. La pérdida de éste es un gran incidente, ya que entonces resulta imposible continuar las operaciones.

Así pues, la cuestión era saber si era o no necesario disponer permanentemente de un tubo prolongador de recambio. Pero, en primer lugar había que evaluar el riesgo de erupción de hidrocarburos en los pozos, ya que si dicho riesgo era elevado, el tubo de recambio resultaba indispensable y la cuestión era superflua. Ahora bien, un estudio preliminar había demostrado que las erupciones eran sucesos muy improbables. Por tanto, el problema se reducía a sopesar el coste del tubo prolongador de recambio y el del alquiler del buque de sondeo, que debería pagarse al final del contrato, aunque las operaciones hubieran tenido que cesar a consecuencia de la pérdida del primero. Un detallado análisis de riesgo permitió llegar a la conclusión de que, para este proyecto de sondeo, la probabilidad teórica de pérdida del tubo era del orden del 7,5 %. Este valor parecía elevado, pero... fue precisamente en esta época cuando el buque de posicionamiento dinámico «Discoverer Seven Seas», que debía realizar el proyecto, perdió precisamente su tubo prolongador en el Adriático, durante las operaciones de su decimo-cuarto sondeo. Por medio de un cálculo puramente estadístico, independiente de los resultados de análisis de riesgo, se estimó que la probabilidad empírica de pérdida del tubo era igual al 8,5 %. Esto venía a confirmar, e incluso acentuar, los resultados teóricos. Por consiguiente, se decidió encargar el tubo prolongador de recambio...

El optimismo no compensa

La puesta en práctica del análisis de riesgo choca, no obstante, con una serie de dificultades derivadas principalmente de integrarla en el desarrollo de un proyecto. Para una mayor eficacia, es indudable que debería aplicarse desde el principio del anteproyecto. El ejemplo del proyecto Skuld permite esperar que esta práctica vaya generalizándose entre las compañías petroleras. Por otra parte, necesita una permanente y estrecha colaboración entre especialistas del análisis de riesgo y miembros del grupo de proyecto, colaboración que a veces es difícil conseguir, ya que los seguidores no están acostumbrados a tener en cuenta los potenciales fallos de un sistema. También aquí, el caso Skuld invita a pensar que, a pesar de todo, esto es posible. Además, la validez de los datos empleados para calcular las probabilidades de ocurrencia de los riesgos no siempre ha quedado confirmada. Si los sectores nuclear y aeronáutico disponen de una base de datos representativos, y el petróleo empieza ya a tener la suya, sobre todo gracias al proyecto OREDA, hay otras industrias a las que queda por delante mucho esfuerzo.

Finalmente, a los ingenieros, formados en el razonamiento determinista, les es difícil aceptar un enfoque realmente probabilista, como el que se puso en práctica en el caso de EPRS. Tienen por costumbre calcular las características de una estructura para que aguante, no para atender a sus posibles fallos.

Y todavía otro problema: la realización de un estudio exhaustivo requiere tiempo. Por tanto, el coste de uno de estos análisis puede, *a priori*, parecer elevado a los industriales. Pero, en general, queda compensado por el beneficio que proporciona, sea desde el punto de vista de la productividad de las instalaciones, sea en la prevención de accidentes. El análisis de riesgo ha permitido ya muchos progresos. Con él, el nivel de seguridad de industrias como la nuclear civil es muy superior al de otras (que, sin embargo, efectúan controles de calidad extremadamente estrictos). Además, pueden calcularse riesgos incluso en ausencia total de estadísticas globales representativas –como lo demuestra el caso del tubo prolongador– y, de una manera más general, el nivel de seguridad de una nueva instalación.

Gracias a este enfoque se sabe cómo cuantificar las ventajas y los inconvenientes, en términos de producción y de seguridad, de cada una de las posibles soluciones técnicas a un determinado problema. Por consiguiente, se pueden efectuar análisis comparativos rigurosos y ayudar a los responsables a tomar las mejores decisiones tecnicoeconómicas.

El análisis de riesgo constituye una técnica inigualada en lo que se refiere a la optimización de la fiabilidad, de la disponibilidad y de los costes de inversión con relación a los costes de explotación. La aplicación de los métodos fiabilistas, emprendida hace algunos años en la industria petrolera, ha demostrado su eficacia en numerosos proyectos. Los esfuerzos realizados por nuestras compañías reflejan la necesidad de disponer de instrumentos de gran rendimiento para auxiliar al diseño y a la decisión y que, utilizados como complemento del enfoque convencional, contribuyan a una mejor gestión de los riesgos que cotidianamente se presentan. Pensamos que los especialistas del riesgo, estos nuevos «abogados del diablo», se han hecho ya indispensables.

Para más información:

- El Centro nacional de estudios de las telecomunicaciones ha puesto amablemente a disposición de todos un importante centro de documentación. FIA-DOC, 38-40 rue de Général Leclerc, 92131 Issy-les-Moulineaux, tel.: 45-29-58-26.
- A. Pagès, M. Gondran, *Fiabilité des systemes*, Eyrolles, Colección EDF, 1980.
- P. Lagadec, *Le risque technologique majeur*, *Pergamon Press*, Colección Futuribles, 1981.
- U. Hauptmanns, *Análisis de árboles de fallos*, Ediciones Bellaterra, S.A. Barcelona, 1986.

Las características del SIDA son difíciles de explicar con un solo virus.

¿Tiene cómplices el virus del SIDA?

A todo el que lea regularmente la prensa difícilmente le habrá podido pasar por alto la aparición de una nueva enfermedad, el SIDA (siglas de síndrome de inmunodeficiencia adquirida) hacia 1980 en Estados Unidos, sin duda algo antes en África central, y detectada un poco más tarde en Europa. Pocos países se han librado de ella. La epidemia progresa de forma regular. El número de casos declarado se duplica, aproximadamente, cada año y el SIDA presenta una elevada mortalidad. Sin duda, ninguno de los enfermos afectados por el SIDA en 1981 está hoy vivo.

Como a menudo se ha subrayado el SIDA es menos una enfermedad que una suma de patologías distintas, raramente observadas anteriormente en otros enfermos, excepto en los que tenían un sistema inmunitario que no funcionara bien. De hecho, los enfermos del SIDA son inmunodeprimidos y tienen una capacidad de lucha menor contra los parásitos y los microbios.(1) Al principio, en ausencia de un agente específico identificado, bacteria, virus o parásito, los investigadores enfrentados al SIDA sospechaban de la cooperación de varios factores en la génesis de la enfermedad. Pero a partir de 1983, primeramente en el Instituto Pasteur de París y después en otros laboratorios, se aislaron uno y después varios virus, a partir de ganglios linfáticos o de células sanguíneas afectadas por signos precursores del SIDA o del SIDA declarado (véase «El SIDA y su virus» *Mundo Científico,* 50, setiembre 1986). Estos virus, que se convino en denominar HIV (por Human Immunodeficiency Virus) desde 1986, son retrovirus, cuyo material hereditario es ARN. Su descubrimiento valió, a finales de setiembre de 1986, el célebre premio Lasker de medicina a los tres principales organizadores de estos trabajos. L. Montagnier del Instituto Pasteur. R. Gallo del National Institutes of Health de Bethesda y M. Essex, un epidemiólogo de Boston. Los virus de SIDA, cuya virulencia varía al parecer de una cepa a otra, son claramente el agente responsable de la enfermedad, debido a las razones siguientes. Infectan y matan algunos tipos celulares, lo que causa la característica más importante del SIDA: la destrucción de las células esenciales del sistema inmunitario, como los linfocitos T llamados auxiliares, es responsable la inmunodeficiencia; la destrucción de las células nerviosas es responsable de los trastornos mentales a menudo asociados con la enfermedad (véase «El SIDA y el cerebro», *Mundo Científico,* n.° 64, diciembre 1986). La enfermedad es transmitida al mismo tiempo que el virus: además de la vía sexual, el virus puede ser transmitido por vía sanguínea, o por fracciones sanguíneas purificadas, lo que explica la prevalencia de la enfermedad en los hemofílicos. La prueba definitiva es que la inyección de sangre humana contaminada, y más recientemente de virus purificado, en chimpancés induce en estos animales todas las características clínicas del SIDA. Por tanto, los virus HIV son tan responsables del SIDA como el bacilo de Koch lo es de la tuberculosis.



Éste es un mosquito hembra picando a un ser humano. Puede transmitir el paludismo, la fiebre dengue y otras enfermedades. Pero no transmite el SIDA: a pesar de lo que se ha dicho, es inocente de este crimen. (Foto Jacana.)

Para que aparezca el SIDA hace falta la presencia del virus ¿Pero es suficiente?

He hecho esta pregunta a propósito, ya que es sabido que la tuberculosis no se desarrolla en todos aquellos que se expongan al bacilo, además de que su evolución no es la misma de un individuo a otro. La relación que une el SIDA con la presencia del virus del SIDA es del mismo orden. Por ejemplo, según los datos del Centro Nacional de Transfusión Sanguínea, en Francia debe haber aproximadamente, unas 100.000 personas que no presentan ningún signo clínico de SIDA o de pre-SIDA, son los «portadores sanos». Pero éstos han estado en contacto con el virus, o incluso lo albergan aún, pero en una forma aparentemente no virulenta. Esta cifra tiene que compararse con los 800 casos de SIDA declarado, registrados en Francia desde el inicio de la epidemia, cifra

hecha pública por el ministerio de la Salud a finales de agosto de 1986. ¿Se trata solamente de una enfermedad de evolución muy lenta? ¿O bien solamente una pequeña proporción de portadores sanos llega a desarrollarla? Pero entonces ¿qué proporción? Las cifras que se proponen carecen de fundamento ya que, en realidad, lo ignoramos totalmente, lo cual no impide que nos preguntemos por qué aparece la enfermedad en algunos individuos expuestos al virus y no en otros. Para esta pregunta, algunos elementos nos permitirán avanzar alguna respuesta, una de éstas es que se podría tratar de una cuestión de resistencia de origen genético. Se requerirá entonces un cúmulo de pasos y circunstancias propicias y no la única presencia del virus, para que aparezca la enfermedad. Por otra parte, una de las características del SIDA declarado es la diversidad de sus manifestaciones, que van desde la simple adenopatía a formas fulminantes que matan al individuo en algunos meses. Ello no es específico del SIDA: también se observa lo mismo en el virus responsable de la hepatitis B (véase «La hepatitis», *Mundo Científico* 28, setiembre 1983). También en este caso, la variación individual de la gravedad de la enfermedad sugiere que si bien el virus es necesario, quizá no es suficiente. No es seguro, pero la hipótesis de la existencia de cofactores del SIDA no puede ser descartada, *a priori*, de un plumazo, incluso si llega a demostrarse falsa.

Por ello, ya desde el inicio de la enfermedad, numerosos investigadores han estudiado la posibilidad de que varios factores puedan cooperar en el hundimiento de la capacidad de respuesta inmunitaria del enfermo, que es la *causa inmediata* del SIDA. Indiscriminadamente se sospechó de los afrodisiacos y de otros vasodilatadores, que posteriormente fueron absueltos. La constatación de que el virus se desarrolla más fácilmente en individuos que ya estaban algo inmunodeprimidos ya es más seria.[2] Un estado de este tipo puede ser inducido de muchas maneras: los citomegalovirus, por ejemplo, son conocidos por este efecto y además se encuentran presentes en abundancia en todos los enfermos, y a menudo en las personas en riesgo.[1] De la misma manera, la gravedad de las infecciones parasitarias intestinales, signos precoces del SIDA, ha hecho sospechar que algunos parásitos intestinales poseen propiedades inmunodepresivas.[3] La inmunodepresión es una situación clásica en los hemofílicos, incluso en ausencia del virus del SIDA, y de forma bastante extendida. De todo ello no se desprende ninguna conclusión absoluta, a menos que el estado general del enfermo y la presencia de una ligera inmunodepresión puedan desempeñar un papel «facilitador» en la gravedad de la infección por el virus HIV.

A finales de 1986, el grupo de F. B. Hollinger, del Baylor College of Medicine, Houston (Texas), aportó informaciones más precisas sobre la identidad de un eventual cofactor del SIDA, que merecen ser consideradas.[4] Estos autores parten de la observación de que los perfiles epidemiológicos de la hepatitis B y del SIDA son parecidos, y que, a menudo, los enfermos afectados por el SIDA también han estado en contacto con el virus de la hepatitis B, hayan o no desarrollado esta última enfermedad.[5] Además, varios grupos, entre los que se encuentra P. Tiollais, de París, demostraron que, de forma totalmente inesperada, se encuentra ADN derivado de virus de la hepatitis B en los glóbulos blancos, fuera de su objetivo habitual, el hígado.[6] El grupo de D. Zagury, de la facultad de ciencias de París, demostró en 1985 que algunos enfermos afectados por el SIDA albergaban también al virus de la hepatitis B en sus linfocitos T.[7] De aquí la suposición de que el virus de la hepatits B a veces podría actuar como cofactor del SIDA. En todos los pacientes estudiados por el grupo de Hollinger y afectados por el SIDA, sus glóbulos blancos contenían también ADN derivado de la hepatitis B, incluso en el caso de que no hubiera sufrido una hepatitis declarada. Como este virus es de ARN, el ADN solamente puede ser una forma de replicación. Por tanto, el virus debe haber iniciado su replicación en los linfocitos. Hollinger sugiere que una infección por el virus de la heptitis B reduce la eficacia de los linfocitos T infectados, fenómeno que ya ha sido observado,[8] lo cual ayuda, de una forma u otra, a la multiplicación del virus HIV. Una situación de este tipo, en la que un virus ayudaría a proliferar a otro, no es nueva: los virus responsables de la leucemia de Friend en los ratones cooperan entre sí para su replicación y sus efectos patológicos.[9] Sea como sea, la estrecha relación observada entre el virus de la hepatitis B y el HIV sugiere un posible papel del virus de la hepatitis B en la génesis o la extensión del SIDA. Aunque no está demostrado, la idea es seria, a pesar de que la importancia de los cofactores sigue siendo difícil de evaluar o demostrar.

Desde este punto de vista, una hipótesis muy interesante debida a D. Kaltzamann y J. C. –Gluckman, del hospital de la Salpétrière, París proporciona un modelo muy plausible de la evolución de la enfermedad, en la que la solicitación del sistema inmunitario por las infecciones amplifica progresivamente el número de células infectadas por el virus. En este caso, es el estado general del individuo lo que sería importante.[10]

¿Allanan los mosquitos el camino al SIDA?

Pero la verdadera piedra de toque de 1986 ha sido el «caso de los mosquitos», o más bien los casos de los mosquitos. El primero podría llamarse el «caso de Belle-Glade». Esta pequeña población de Florida, en la orilla del lago Okeechobee, a unos treinta kilómetros de Palm Beach, tiene 20.000 habitantes, de los cuales 10.000 son negros. En el primer Congreso Internacional sobre el SIDA, que tuvo lugar en Atlanta en 1985, el Dr. M. Whiteside, del Instituto de Medicina Tropical de Florida, informó que en 1985 se declararon en Belle-Glade, 55 casos de SIDA, (casi todos entre la población negra, y cerca de 200 en 1986, si se incluían los estados de pre-SIDA), o sea, varias decenas de veces el porcentaje de San Francisco o Nueva York.[11] Según este informe, contestado acaloradamente, al parecer por una cierta falta de rigor, la epidemia de Belle-Glade tendría otras características: en especial el perfil de población afectada es distinto al del resto de Estados Unidos, con una proporción mucho más reducida de homosexuales. Para explicar esta extraordinaria frecuencia de la enfermedad en Belle-Glade y sus características, M. Whiteside culpó a los mosquitos que infestan la región. ¿Pueden transmitir el virus HIV?[12] Esto no está aún demostrado, pero pueden transmitir otros virus, como el virus Maguari, frecuente en África, pero muy raro en Estados Unidos... excepto en Belle-Glade. Los mosquitos también transmiten arbovirus, como el responsable de la fiebre dengue. Los arbovirus tienen la propiedad, descrita en algunos animales, de inducir la replicación de los retrovirus. De aquí a pensar que los arbovirus podrían ser los responsables de la activación del virus HIV, solamente hay un paso. Paso que, en todo caso, no hay que dar, según K. Castro, del Centres for Disease Control de Atlanta (CDC), en un estudio dado a conocer en el Congreso Internacional sobre el SIDA que tuvo lugar en París en junio de 1986.[13] Según este estudio, solamente se encuentran arbovirus en un 10-15 % de los enfermos afectados por el SIDA, es decir, el mismo porcentaje que en la población general. De hecho, el estudio del CDC llega a una conclusión totalmente distinta de Whiteside. Las condiciones de vida, la promiscuidad, el estado de salud general de la población, asociados al hecho de que los trabajadores estacionales procedentes de regiones donde el SIDA es endémico (Haití, Jamaica) vienen a trabajar en las Everglades durante la época de la zafra de la caña de azúcar, trabajo que va acompañado de drogas, y prostitución, son suficientes para explicar las características de la epidemia de SIDA de Belle-Glade. Los datos epidemiológicos se oponen al papel de los mosquitos como vector del virus.

Ello no privaría al mosquito de actuar, eventualmente, como cofactor. Pero en este caso hay que dirigirse hacia

(1) R. Zittoun, *Le syndrome immunodéficitaire acquis*, Doin, 1986.
(2) C.A. Ludlam y col., Lancet, i, 233, 1985.
(3) J.W. Curran y col., *Science, 229*, 1352, 1985.
(4) C.A. Nooman y col., *Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 83*, 5698, 1986.
(5) V.R. Rustigi y col., *Ann. Intern. Med., 101*, 795, 1984.
(6) P. Pontisso y col., *Br. Med. J., 288*, 1563, 1984.
(7) F. Laure y col., *Science, 229*, 561, 1985.
(8) B. Yoffe y col., *Hepatology, 4*, 1028, 1984.
(9) R. Weiss y al., *RNA tumor viruses*, Cold Spring Harbor Laboratory, 1982.
(10) D. Klatzmann y J. Gluckman, *Immunol. Today, 7*, 291, 1986.
(11) M. Whiteside, Conferencia Internacional sobre el SIDA, Atlanta, 1985.
(12) S.F. Lyons y col., *Lancet, i, 45*, 1986.
(13) K. Castro, Conferencia Internacional sobre el SIDA, París, 1986.

Llega la tranquilidad: los mosquitos no provocan el SIDA.

África y sus mosquitos, para poder verificar si la hipótesis de M. Whiteside tiene algún valor. Esto es lo que ha hecho el grupo que anima C. Chermann en el Instituto Pasteur, en asociación con otros investigadores en París y en África. El breve artículo que han publicado en *Comptes rendus de l'Académie de Sciences*[14] contiene mucha información, pero seguramente menos de la que se ha podido verter a lo largo del Congreso de Cancerología de Budapest a finales de 1986 o en la prensa. Limitémonos simplemente a lo que se ha publicado.

Sin embargo, hay un genomio viral en algunos insectos

Inicialmente los autores investigaron si el virus era capaz de penetrar en células de insectos. El virus HIV penetra sin problemas en células de drosófila y de mosquito mantenidas en cultivo. Hay que señalar que estas células son de origen embrionario y que desconoce si el virus puede entrar en células adultas de insectos. El virus entra y se intrega en los cromosomas de la célula infectada. Pero esta integración es transitoria: diez días después de la infección deja de detectarse. Así, aunque el virus entre en la célula y desencadene un inicio de replicación en forma de la síntesis de un ADN proviral que se integra en un cromosoma, es incapaz de proseguirla, y no se puede detectar la producción de ningún virus.

Por tanto, el ciclo de replicación del virus es abortivo, al menos en las células embrionarias estudiadas. ¿Pero se encuentra ADN proviral en los cromosomas de insectos capturados en zonas donde el virus hace estragos de forma endémica? Los parisienses pueden estar tranquilos. Los insectos de la región parisiense no están contaminados (desconocemos si sucede lo mismo en los de Belle-Glade).

La situación es distinta con los insectos capturados en África. Entre los procedentes del Zaire, solamente los ADN de mosca tse-tsé, cucaracha y hormiga león poseían en sus cromosomas ADN parecido o idéntico a un provirus de HIV. Entre los insectos capturados en Bangui, solamente las garrapatas recogidas sobre despojos de bóvidos poseen también ADN análogo al del provirus HIV. Pero que hay que hacer resaltar que la organización de este ADN, quizá proviral, no se corresponde con la de los virus HIV ya conocidos: quizá no se trata de un virus.

En contra de lo que ha salido en la prensa, no hay mosquitos que favorezcan la extensión del virus. Tampoco está en discusión la transmisión del virus por los mosquitos o que éstos se sirvan de reserva natural.[12] Como ya hemos dicho, toda la epidemiología se opone a la participación de los mosquitos en la propagación del SIDA. Por ejemplo, en el Zaire, del 6 al 8 % de la población es HIV positiva, mientras que el 100 % está afectada por la malaria, propagada por los mosquitos.[15] Si éstos fueran vectores del SIDA, toda la población debería estar infectada por el virus HIV. Por tanto, los mosquitos, además del hecho de que no se han encontrado ejemplares infectados, tienen muy pocas posibilidades como vectores del SIDA. Pero ello no excluye de ninguna manera la participación de otros insectos chupadores en la propagación de esta enfermedad. El hecho de que las muestras de mosca tse-tsé albergaran ADN de tipo HIV es ya bastante inquietante. Además, un grupo de médicos surafricanos ha demostrado que el virus HIV podía permanecer algunas horas en chinches que habían absorbido la sangre de un enfermo. No se puede excluir la contaminación por insectos chupadores en las zonas donde el SIDA es endémico, pero falta probar su importancia real en el desarrollo de la enfermedad.

De todas formas, estamos muy lejos de una hipótesis apocalíptica en la que el virus estaría propagado por mosquitos. Sea como sea, el descubrimiento de secuencias de ADN de tipo viral en algunos insectos plantea serias preocupaciones. Antes de dejarse llevar por la imaginación, háy que asegurarse de que estas secuencias estén bien organizadas bajo en forma de un ADN proviral, que eventualmente, pueda transformarse en un virus activo. Eso solamente se podrá confirmar mediante el aislamiento por ingeniería genética de estos fragmentos de ADN de los insectos seguido de la determinación de su secuencia de nucleótidos. Si estas secuencias son realmente las de un provirus, los insectos pueden pasar a ser verdaderas reservas naturales del virus. Bastarían unas pequeñas variaciones de su ADN para que los provirus acabasen su ciclo de replicación, y entonces los insectos serían infectantes, lo cual es perfectamente posible. Hay que añadir que el ADN cromosómico de los insectos está sujeto a modificaciones genéticas muy frecuentes, debidas a la presencia de elementos genéticos móviles (véase «El origen de los retrovirus», *Mundo Científico*, n.º 35 abril 1984). Estos elementos móviles están muy emparentados con los retrovirus y siempre pueden ayudar a que una secuencia de ADN se haga móvil. Éste puede ser incluso el origen mismo del virus. En estas condiciones, el hecho de que se encuentre ADN emparentado con el virus HIV en garrapatas parásitas de animales, es de gran interés. Este descubrimiento de fragmentos de ADN proviral en los cromosomas de insectos no puede ser tomado a la ligera, incluso en el caso de que la amenaza sea de otro tipo que el de la propagación del virus por mosquitos, como se ha dicho repetidamente.

Este complejo problema recibe un tinte más sorprendente aún con la entrada del mundo político en el informe «Sida y mosquitos». Todos los órganos de prensa han recibido una nota del *Executive Intelligence Review*, una de las publicaciones de la organización variopinta que dirige Lyondon H. Larouche, conocido en Francia bajo el nombre de Partido Obrero Europeo, y que se ha planteado como objetivo la lucha contra estas «plagas» (sic) de todo tipo, en la que cada uno encontrará la suya: droga, ecologistas, sionistas, países del Este, banca mundial, etc. En una nota a propósito del SIDA y de los mosquitos, este grupo se ampara en esta hipótesis, no demostrada en absoluto, para proclamar la idea de una especie de cruzada contra el SIDA, esta nueva peste, y sus portadores. «Como la enfermedad es transmitida por los mosquitos, en algunas condiciones...», conviene establecer una especie de cordón sanitario para proteger a las poblaciones blancas, aún relativamente indemnes de la plaga que azota a África hasta un punto que una OMS dominada por la Unión Soviética nos está ocultando... En resumen, para entrar en esta «reserva blanca», se debería enseñar la «pata blanca», o más bien un certificado de seronegatividad al virus HIV. Los desgraciados mosquitos son una simple excusa: el grupo de Larouche hace un llamamiento a una nueva cruzada de la que los países pobres y altamente afectados serían los objetivos. El SIDA plantea ya muchos problemas. No le faltaba más que servir de argumento sociopolítico: después de los homosexuales desventurados sean los pobres...[16, 17]

Alain Gressentis.

(14) J.L. Becker y col., *C.R. Acad. Sci. París*, serie III, 303, 1986.
(15) J. Mann y col., *Lancet*, *27*, 707, 1986.
(16) *Executive Intelligence Review*, 15 febrero 1986.
(17) *Executive Intelligence Review*, 27 agosto 1986.

Los sabores varían con los pueblos



Lo azucarado, lo salado, lo ácido y lo amargo son los cuatro sabores de base que nos permiten la degustación de los alimentos. Estas sensaciones, percibidas desde la más temprana edad, son universales. No obstante, de una población a otra, las cualidades de discriminación gustativa pueden variar considerablemente. Un estudio realizado recientemente por unos investigadores del CNRS y del Museo Nacional de Historia natural revela pues que los eskimos son muy sensibles a la sal, mientras que los pigmeos perciben mucho menos el gusto salado (C.M. Hladik *et al.*, *C.R.Acad.Sci.Paris, 303, 454*, 1986). Los pigmeos son también poco sensibles a lo azucarado, en comparación por ejemplo con las poblaciones sudanesas estudiadas. Lo mismo ocurre con los sabores ácidos (ácido cítrico y oxálico) y amargos (clorhidrato de quinina). De una manera general, las mujeres son más sensibles a los diversos sabores que los hombres con excepción de los pigmeos para los cuales no aparece ninguna diferencia significativa entre los dos sexos. Es probable que estas variaciones de sensibilidad gustativa entre poblaciones se expliquen por diferencias importantes en la composición química de los alimentos disponibles. A título de ejemplo, los frutos de los bosques densos donde viven los pigmeos contienen contenidos importantes en azúcares, mientras que los frutos de los medios más secos, a los que están acostumbradas las poblaciones sudanesas desde hace milenios, son poco azucarados. (Foto Hoaqui.)

Sísifo atómico

Inmovilizar unos átomos es un ejercicio difícil, puesto que los átomos son objetos eléctricamente neutros sobre los que la acción directa de campo eléctrico o magnético no tiene efecto Pero gracias al láser, es un ejercicio en el que los físicos son ahora maestros. En 1985, dos equipos americanos consiguieron por primera vez inmovilizar un chorro de átomos iluminándolo a contracorriente con un haz láser. También en 1985, unos átomos así inmovilizados «a golpes de fotones láser» pudieron ser encerrados en una trampa magnética, y después de 1986, en una trampa luminosa. Más recientemente, ha sido desarrollado y experimentado con éxito un nuevo método para frenar los átomos por A.Aspect, J.Dalibard, A.Heidmann, C.Salomon y C.Cohen-Tannoudji, del laboratorio de espectroscopía hertziana de la Escuela normal superior y del Collège de Francia *(Phys. Rev. Lett., 57*, 1688, 1986). Este nuevo método se basa en un principio bastante curioso. Consiste en crear, por medio de una onda estacionaria intensa de luz láser, una modulación de los niveles de energía de los átomos, a lo largo de la trayectoria seguida por ellos, cuando disminuye su velocidad. Se puede representar en la imaginación estos niveles de energía modulados en el espacio como una serie de placas en chapa ondulada, situadas en pisos unos encima de otros. En estas condiciones, la emisión espontánea de fotones fuerza a los átomos a vivir una especie de mito de Sísifo microscópico.

La probabilidad de emisión de fotón por un átomo es en efecto máxima cuando este átomo está arriba de una «pendiente», sobre una de las placas onduladas. Y cada emisión conduce al átomo a un «hueco» de una placa inferior. De modo que el átomo se dedica a subir pendientes en energía disminuyendo así rápidamente su velocidad. La ventaja de este nuevo método es que su eficacia crece con la potencia del láser, en lugar de saturar como la fuerza de presión de radiación habitualmente utilizada para disminuir la velocidad de los átomos. En definitiva, esto hace posible detener a los átomos en una distancia del orden del centímetro en lugar del metro todavía necesario habitualmente.

La carrera hacia la

Todo el mundo puede imaginarse la importancia médica y económica de una vacuna contra el virus del SIDA. Para prepararla, la idea evidente (pero no desprovista de riesgos potenciales ni de ineficacia debido a la variación del virus) es utilizar las proteínas de la capa exterior del virus como base de la vacuna. Es sabido en efecto que los pocos anticuerpos realmente neutralizantes reconocen estas proteínas (véase en este número en la página 196). La cuestión es por tanto producirlas en cantidades suficientes y presentarlas al sistema inmunitario de forma que este último responda de manera eficaz. Según una idea inicial de B.Moss, y aplicada con éxito entre 1983 y 1985 en la preparación de principios vacunantes contra la rabia y la hepatitis B, varios laboratorios han decidido utilizar el virus de la vacuna, el que sirve para la vacunación antivariólica, para hacerle producir y presentar una proteína de capa exterior del virus del SIDA. Es suficiente para ello introducir el gen de la proteína en el material hereditario del virus de la vacuna. Esta proteína se encuentra entonces expresa-

Carinae: una estrella descompuesta

La estrella ε Carinae preocupa desde hace tiempo a los astrónomos. Estrella variable en el curso de los siglos, sufrió una fuerte erupción alrededor de 1843. Está rodeada de la nebulosa «Homonculus», sin duda constituida del gas eyectado durante la erupción. Es además la fuente infrarroja más intensa del cielo (aparte de sol) a la longitud de onda de 20 µm. Se han apuntado varias hipótesis sobre su naturaleza: ¿estrella muy joven y muy maciza, sistema binario provisto de un disco de acreción, enjambre de estrellas u objeto todavía más exótico?

Solamente una técnica permite observar los detalles de fuentes tan puntuales: la interferometría de manchas que analiza unas placas tomadas sucesivamente, con tiempos de exposición inferiores al de la degradación de las imágenes por la atmósfera. Gracias a la excelente resolución espacial que ofrece –0,06" en lugar de 1" aproximadamente para observaciones normales–, ha permitido a los astrónomos G. Weigelt y J. Ebersberger, del Instituto de física de Erlangen (RFA), mostrar que ε Carinae está en realidad constituida de varias componentes, de tamaños inferiores a 0,03", y separaciones próximas de 0,1" (*Astron. Astrophys., 163*, L5, 1985). Falta interpretar este descubrimiento y reconocer la naturaleza de estas subestructuras.

vacuna anti-SIDA

da en la superficie del virus híbrido, como cualquier proteína autóctona. Tales virus fueron descritos en 1986, primero en los laboratorios de B.Moss y H.Koprowsky en Estados Unidos y después recientemente en el de la sociedad Transgène de Estrasburgo (M.P. Kieny *et al., Biotechnology, 4*, 790, 1986). La preparación de esta última base de la vacuna (la experimentación animal está empezando) es el fruto de una colaboración entre Transgène, el Instituto Pasteur y la Sociedad Pasteur-vacunas, (el Instituto Mérieux 51 %, el Instituto Pasteur 49 % del capital). En el momento en que la construcción de este virus híbrido es publicada, un artículo firmado por investigadores de tres sociedades de biotecnología de Seattle muestra que los macacos vacunados con un virus híbrido parecido desarrollan una respuesta inmunitaria tanto en anticuerpos como celular (J.M.Zarling *et al., Nature, 323*, 344, 1986). Esta vacuna es a pesar de los riesgos relacionados con la proteína de envoltura la más prometedora en la lucha contra el SIDA, y Francia se encuentra en cabeza de esta investigación.

Preguntas sin respuesta

Nada es simple, todo se complica. Esta ocurrencia resume bastante bien el estado actual de las investigaciones sobre los «compuestos de electrones pesados». Estos materiales, como UBe_{13} o $CeCu_6$, son aleaciones formadas por la asociación de un elemento muy pesado (un actínido como el uranio o una tierra rara como el cerio), y de uno o varios metales ligeros. En estos compuestos, los electrones se comportan como si estuvieran dotados de una masa efectiva mucho más pesada que en el vacío. Algunos de estos compuestos, como UBE_{13} son supraconductores a muy baja temperatura y este comportamiento viene acompañado de propiedades totalmente inhabituales en ciencias de los materiales.

Unos físicos de la universidad de California (San Diego, La Jolla) en colaboración con unos investigadores del laboratorio de Los Alamos (Nuevo México) acaban de estudiar la influencia de la presión sobre la temperatura de transición supraconductora del sistema ($U_{1-x}Th_xBe_{13}$) para diferentes valores de x (Phys.Rev.-Lett., 57, 1619, 1986). Sus resultados indican que dos diferentes estados supraconductores intervienen en este sistema y están afectados diferentemente por el aumento de presión. ¿Cuál es el origen de esos diferentes estados supraconductores? ¿Cómo explicar los sorprendentes comportamientos que les acompañan? Estas preguntas continúan planteadas.

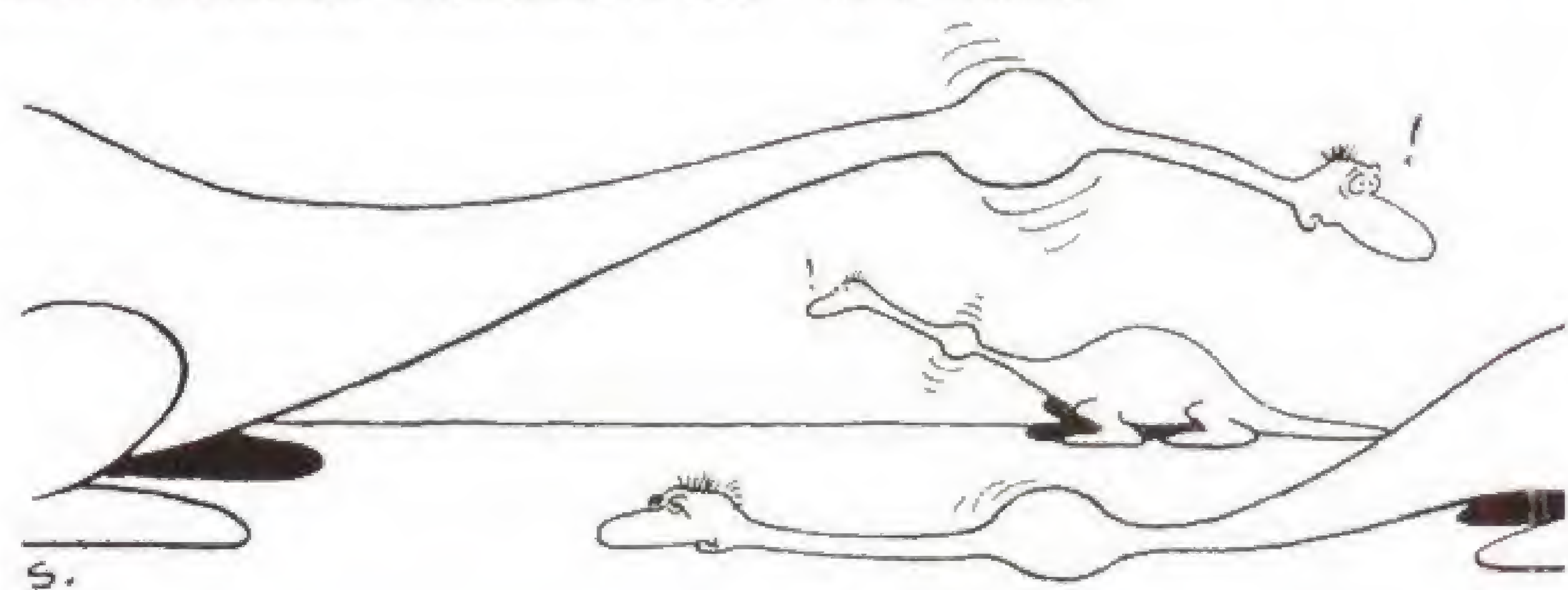
Otro elemento de información publicado en el mismo número de *Physical Review Letters*, los resultados de una medición directa de la masa efectiva de los electrones de $CeCu_6$. Este tipo de compuesto no presenta transición hacia un estado supraconductor u ordenado magnéticamente. Por la manifestación del efecto de Haas-van Alfen en este compuesto, una colaboración internacional de físicos británicos (University of Sussex, Brighton), canadiense (National Research Council, Ottawa) y francesa (CNRS, Meudon) acaba de medir directamente la masa efectiva de los electrones (*Phys. Rev. Lett. 57*, 1631, 1986). Ésta puede alcanzar hasta cuarenta veces la de un electrón en el vacío, para temperaturas comprendidas entre 20 y 250 milikelvins. Lo soprendente es que ningún electrón «ligero» ha sido observado a esas temperaturas. ¿Por qué el compuesto estudiado no es supraconductor u ordenado magnéticamente? De nuevo, la cuestión sigue planteada. ¿Por cuánto tiempo todavía?

¿Los dinosaurios víctimas del núcleo terrestre?

Las extinciones masivas que marcaron el paso Cretáceo-Terciario, hace 65 millones de años, hicieron surgir una serie de teorías, unas más antiguas, partidarias de un origen interno en la Tierra (volcanismo esencialmente), las otras admitiendo la intervención de acontecimientos extraterrestres (asteroide, nubes de polvo...). Las extinciciones masivas (entre otras las de los dinosaurios) que acaban de ser estudiadas en India, por un equipo del instituto de física del globo de París (*C.R.Acad.Sc.París, 303*, 863, 1986) aportan nuevos argumentos a favor del origen interno que toma así nuevo auge.

Desde hace tiempo, los geólogos conocían las amplias corrientes de basaltos que recubren el Deccan y este estudio acaba de precisar la edad y la duración de emisión de estas lavas. Así las primeras erupciones volcánicas se produjeron hacia 66 MA (± 2 MA) precisamente antes del límite Cretáceo-Terciario. Este acontecimiento volcánico habría durado 500 000 años aproximadamente, lo cual es suficiente para crear unas condiciones de vida desfavorables, en particular de las lluvias ácidas. Así la causa principal de las extinciones observadas en esta región correspondería probablemente a la mayor catástrofe volcánica ocurrida durante los últimos 200 millones de años. Pero los geofísicos van más lejos todavía en su hipótesis intentando explicar las causas de este volcanismo. Señalan en efecto que los dos principales períodos de extinciones masivas (Permo-Trias hace 245 MA y Cretáceo-Terciario hace 65 millones de años) siguen dos períodos muy largos durante los cuales el campo magnético terrestre no se invirtió. Esta estabilidad de la polaridad del campo magnético podría corresponder a una disminución de la velocidad de los movimientos internos que agitan el núcleo. Esta disminución conduciría a una inestabilidad del manto inferior y a una anomalía de temperatura, manifestada en la superficie por un volcanismo intenso. Esta hipótesis es reforzada por el hecho de que hace 65 MA, la India, separada del supercontinente Gondwana (que comprende África, América del Sur, Madagascar, la Antártida y Australia) y en ruta hacia Asia, se encontraba justamente perpendicular a una subida de magma, o punto caliente, actualmente situada bajo la isla de la Reunión.

Una nueva vía prometedora parece así abrirse en defensa de un origen de las extinciones interno en la Tierra... lanzando una vez más uno de los debates más abiertos de las ciencias de la Tierra.



Un desorden cuidadosamente controlado

Las superredes son minúsculas y preciosos «milhojas», constituidos por el amontonamiento alternado de un gran número de capas de dos cristales semiconductores. Su realización requiere técnicas especiales de fabricación de cristales, como la epitaxia por chorro molecular. El espesor de cada «tajada» del milhojas puede ser controlado por una capa monoatómica y las mallas cristalinas de los dos materiales semiconductores están empalmadas en cada intercara. Las propiedades físicas fundamentales de estos objetos, como su aplicación en microelectrónica, son estudiadas intensamente. Los investigadores del CNET de Lannion han adquirido tal maestría en los métodos de epitaxia por chorro molecular, que hoy pueden fabricar superredes «desordenadas», es decir formadas de capas cuyos espesores son elegidos según el resultado de un sorteo al azar. Gracias a tales superredes, de desorden sabiamente controlado, A.Chomette, B.Deveaud y A.Regreny, del centro de Lannion del CNET, y G.Bastard del grupo de física de los sólidos de la Escuela normal superior, han estudiado cómo el desorden introducido intencionalmente «localiza» a los portadores (electrones o agujeros) de cargas eléctricas e inhibe progresivamente su transporte a lo largo del eje vertical (eje de crecimiento) de superredes de GaAs/GaAlAs (*Phys. Rev. Lett., 57*, 1464, 1986). La notable calidad de los resultados obtenidos muestran que estas superredes constituyen una herramienta ideal –pero poco común– para estudiar finamente los efectos relacionados con la aparición de desorden.

Los investigadores han llegado al interior del gen de la miopatía de Duchenne

La miopatía de Duchenne es una enfermedad muscular grave que ataca principalmente a los niños. El gen responsable fue localizado hace años en el cromosoma X, y más exactamente en 1983 en la región Xp21 de este cromosoma. Gracias a los progresos de la genética molecular cada año ha habido una mayor aportación de precisiones sobre la localización de este gen modificado en los enfermos (véase nuestro número de noviembre 1985, p.1363). Esta vez, el grupo de L.M. Kunkel en Boston, publica el aislamiento de fragmentos genéticos que parecen proceder del interior del gen en cuestión (A.P. Monaco *et al., Nature, 323,* 646, 1986). Si esto es cierto, este gen es gigantesco, su tamaño debe ser por lo menos de 2 000 kilobases. El estudio del gen mutado, como de su parte normal, no es fácil: las técnicas actuales de la ingeniería genética no permiten el estudio directo de fragmentos más grandes de 40-45 kilobases. Hay que esperar la aparición de numerosas publicaciones complementarias entre sí, antes de que la estructura del gen entero sea conocida.

Paludismo: un medicamento que promete

El paludismo se encuentra hoy en el primer plano de las enfermedades parasitarias: en 45 % de la población mundial vive en zonas de riesgo y se calculan más de doscientos millones de infecciones anuales. Esta recrudescencia dramática es debida esencialmente a la aparición del *Plasmodium* (parásito responsable del paludismo) resistente a los medicamentos habitualmente utilizados para luchar contra esta enfermedad (véase el artículo de M. L. Bouguerra en nuestro número de abril 1985). El *Plasmodium* actúa invadiendo los glóbulos rojos (eritrocitos) del individuo que parasita. Esta invasión va siempre acompañada de un aumento considerable del contenido en fosfolípidos del eritrocito. Moléculas sintetizadas directamente por la propia maquinaria enzimática del parásito. La biosíntesis de los fosfolípidos es de tal intensidad en la célula infectada que constituye un conjunto de reacciones indispensables para el desarrollo de *Plasmodium*. De ahí que pueda considerarse posible una vía farmacológica para un nuevo tratamiento del paludismo: todo compuesto que obstaculice la síntesis de esos fosfolípidos será un inhibidor potencial de la expansión del parásito. El grupo de H. Vial del CNRS en Montpellier (UA 530) había ya demostrado que efectivamente era posible detener el crecimiento de *Plasmodium falciparum in vitro*, utilizando unos aminoalcoholes que conducen a la formación de falsos metabolitos, una especie de cebos que interfieren con la biosíntesis de los fosfolípidos.

Este mismo grupo acaba de demostrar que unas grandes moléculas (que poseen uno o varios amonios cuaternarios) tenían la misma acción letal sobre el parásito, pero esta vez bloqueando la entrada, en la célula parasitada de la colina, precursor indispensable de uno de los principales fosfolípidos (M.L. Ancelin y H. Vial, *Antimicrob. Agents and Chemoth., 29,* 1986) Han podido establecer que esta simulación mediante unos cebos del metabolismo fosfolipídico de la célula infectada constituía un método original para una nueva quimioterapia del paludismo.

La eficacia *in vitro* de este método, reconocido por la Organización mundial de la salud y el ministerio francés de la Investigación que sostiene este programa, permite esperar un nuevo medicamento destinado a combatir los fenómenos de resistencia a los medicamentos actuales. El parásito utilizará estos falsos precursores «no advirtiendo la diferencia», que debería no obstante provocar su asfixia, y la regresión de la enfermedad.

Un par de estrellas muy unido

Tres astrofísicos, L. Stella y N. White de la división astrofísica de la Agencia espacial europea (ESA) y W. Priedhorsky del laboratorio de Los Alamos (Estados Unidos) acaban de descubrir lo que podría ser el par de estrellas más unido jamás observado (Astrophys. Lett.,). En este par, las dos estrellas gravitan una alrededor de la otra con un período orbital de solamente... 11 minutos y, aunque la masa total de las estrellas supera la del sol, el par entero podría caber fácilmente entre la Tierra y la luna.

Analizando el flujo de rayos X recibido por el satélite Exosat del ESA procedente de la fuente X1820-30 (designada por sus coordenadas), situada en el enjambre de estrellas NGC6624 de la constelación de Sagitario a 20 000 años luz aproximadamente, los científicos han puesto de manifiesto una variación periódica de 11,4 minutos muy exactamente. Aunque otras hipótesis (rotación de estrella o precesión) no pueden descartarse totalmente, la gran estabilidad de este período en el curso de las diferentes observaciones Exosat en 1984-1985 aboga en favor de una interpretación en término de órbita.

Según los autores, una órbita tan corta no puede sólo explicarse si el par representa un caso muy raro de asociación entre una estrella reducida a un centro de helio y una estrella de neutrones (astro caído de solamente diez kilómetros de radio), procediendo la radiación X de la caída de materia sobre esta estrella condensada. La génesis de un sistema semejante es todavía problemática pero podría estar relacionada con la presencia de la fuente X en un enjambre de varios miles de estrellas.

Según Frank Verburnt del Max Planck Institut de Garching (RFA), en un enjambre tan denso, las colisiones de estrellas son frecuentes y la estrella de neutrones habría podido así capturar a un compañero y después ir en espiral por sus capas exteriores hasta alcanzar su centro de helio. Un argumento seductor pero que tiene que verificarse.

El aislamiento del primer gen supresor de cánceres

Los años 1975-1985 estuvieron marcados por el aislamiento de genes celulares, homólogos a genes llevados por virus cancerígenos y llamados genes oncógenos o genes de cáncer.

En nuestros días se sabe que estos genes son indispensables para una vida celular normal. En cambio, cuando funcionan de manera anormal, participan en mecanismos complejos que llevan a una célula normal al estado de célula cancerosa. No son los únicos: desde hace un año aproximadamente, los investigadores se interesan por otra categoría de genes implicados en los cánceres totalmente distinta, genes que Ruth Sager del Dana Farber Institute de Boston califica como «genes supresores de cánceres» (o antioncógenos), cuyo funcionamiento debe ser anulado para que un cáncer pueda desarrollarse. Estos genes han sido definidos genéticamente en algunos cánceres del niño (de la retina, de los huesos y del riñón). Es necesario que una célula los pierda para que los genes del cáncer y cualquier otro mecanismo de cancerización actúen de forma nociva.

Faltaba salir de la definición puramente genética de los «genes supresores»; es cosa hecha desde hace poco con la publicación del trabajo realizado alrededor del grupo de R.A. Weinberg en Boston (S.H.Friend *et al., Nature, 323,* 643, 1986). Estos autores acaban de aislar un gen que es inactivado en los tumores del niño estudiados, osteosarcomas y retinoblastomas.

Con sus trabajos, es un estudio hasta entonces puramente genético convertido en molecular con un mejor conocimiento de la regulación de las divisiones y de las diferenciaciones celulares. No tengamos la ingenuidad de pensar en una terapéutica.

EN RESUMEN...

¿Cómo el pajaro hembra elije a su pareja? Se han avanzado varias explicaciones: el plumaje y el gorjeo del macho, su habilidad por encontrar los alimentos, sus genes, etc. Después de una serie de experimentos con un pajaro particular *(Ficedula hypleura)*, un equipo sueco de la universidad de Upsalla considera que el criterio esencial para la hembra es la «calidad» del territorio (al abrigo de los depredadores, rico en alimentos) ocupado por el macho (R.V.Alatalo *et al. Nature, 323,* 152, 1986). No cabe duda, la morada y los alimentos son mas importantes que los encantos del macho...



EN RESUMEN...

Desde su aislamiento por Moissan hace 100 años, el fluor es preparado por vía electroquímica. Varias generaciones de químicos se han esforzado en vano en sintetizar fluor por una reacción química simple. Poniendo en juego la fuerza relativa de diferentes ácidos del flúor por una reacción química sim- O.Christe, acaba de poner en tela de juicio este auténtico dogma de la química del fluor preparando por primera vez fluor molecular por vía química *(Chem. Eng. News, 64,* 37, 23, 1986). Un resultado académico que sin embargo podría desembocar en un método industrial competitivo de preparación del flúor.

Premio REINA SOFIA de investigación sobre prevención de la subnormalidad 1986



– Trabajo premiado: PREVENCIÓN DE LA SUBNORMALIDAD DE ETIOLOGÍA GENÉTICA.

– La investigación galardonada ha sido desarrollada en la Universidad Estructural de Investigación (U.E.I.) de Genética Humana del Centro de Investigaciones Biológicas (C.S.I.C.) de Madrid.

– Relación de las personas de la U.E.I. de Genética Humana que han colaborado en los Proyectos y Líneas de investigación del Trabajo premiado:

Personal Investigador

Dr. José Antonio Abrisqueta Zarrabe, Jefe de la Unidad
Dra. Amalia Pérez Castillo
Dra. María Ángeles Martín Lucas
Dra. María Luisa de Torres Perezhidalgo
Dr. Vitalino Aller Racimo
Dra. María Ángeles Sánchez Ferrer

Pesonal Ayudante

María Amparo Cerrajero Hernández
Dolores Pimentel Ibáñez
María Teresa Zorita González

El Trabajo presentado señala la trayectoria científica desarrollada por la U.E.I. de Genética Humana en los últimos años sobre un tema tan importante como el de la prevención de la subnormalidad y de las malformaciones congénitas humanas.

Aunque el Grupo de Genética Humana del C.S.I.C. de Madrid lleva investigando en torno a problemas relacionados con la herencia humana desde comienzos de la década de los años 60, en la Memoria se exponen fundamentalmente las investigaciones llevadas a cabo durante los últimos cuatro años (1982-1986). Sin embargo, como ha sido una constante, dentro de las líneas de investigación desarrolladas por la Unidad de Genética Humana, el tema de la subnormalidad unido al de las malformaciones congénitas, contemplados ambos desde una vertiente preventiva, y dado que las investigaciones desarrolladas durante los últimos cuatro años son deudoras de los proyectos y trabajos de investigación relacionados con anterioridad, en la Memoria se comentan brevemente, a modo de antecedentes, los principales resultados de trabajos de investigación publicados durante el período 1966-1981. Éstos suman un total de 106 trabajos.

Los trabajos de la etapa 1982-1986 ascienden a 73. Entre ellos se incluyen informes de proyectos de investigación sobre el tema de la prevención de la subnormalidad, artículos de revistas científicas y colaboraciones en libros o monografías, así como resúmenes de ponencias o comunicaciones a Congresos Científicos Internacionales y Nacionales del ámbito de la Genética Humana y relacionados con el diagnóstico y prevención de la subnormalidad.

Se ha entendido por «subnormalidad» no sólo la deficiencia mental propiamente dicha, tal como lo define la O.M.S. (1978), sino también cualquier tipo de minusvalía que incapacite al individuo total o parcialmente para alguna de sus funciones y cuya etiología, es decir, la causa u origen, sea de tipo genético fundamentalmente de tipo cromosómico.

La investigación llevada a cabo ha abordado esta subnormalidad y sus posibles causas genéticas en diferentes frentes y desde distintos ángulos, aunque sin perder de vista la perspectiva de su totalidad. Se ha dedicado, no obstante, una atención preferencial a su dimensión citogenética, tratando de perfilar con exactitud los segmentos cromosómicos involucrados en una afección y examinando el origen de las cromosomopatías detectadas, así como los mecanismos meióticos (división reduccional para la formación de los gametos), que las generan. El asesoramiento o consejo genético de tipo prospectivo ha sido la forma concreta de ejercer la acción preventiva de tipo primario.

Es una labor de investigación de primera mano, en la que con gran rigor científico y utilizando técnicas de vanguardia se han estudiado, desde una vertiente genética, diferentes muestras de población española, cuyos resultados han sido publicados en prestigiosas revistas de ámbito internacional o presentados en los principales Congresos Internacionales o Nacionales de la especialidad.

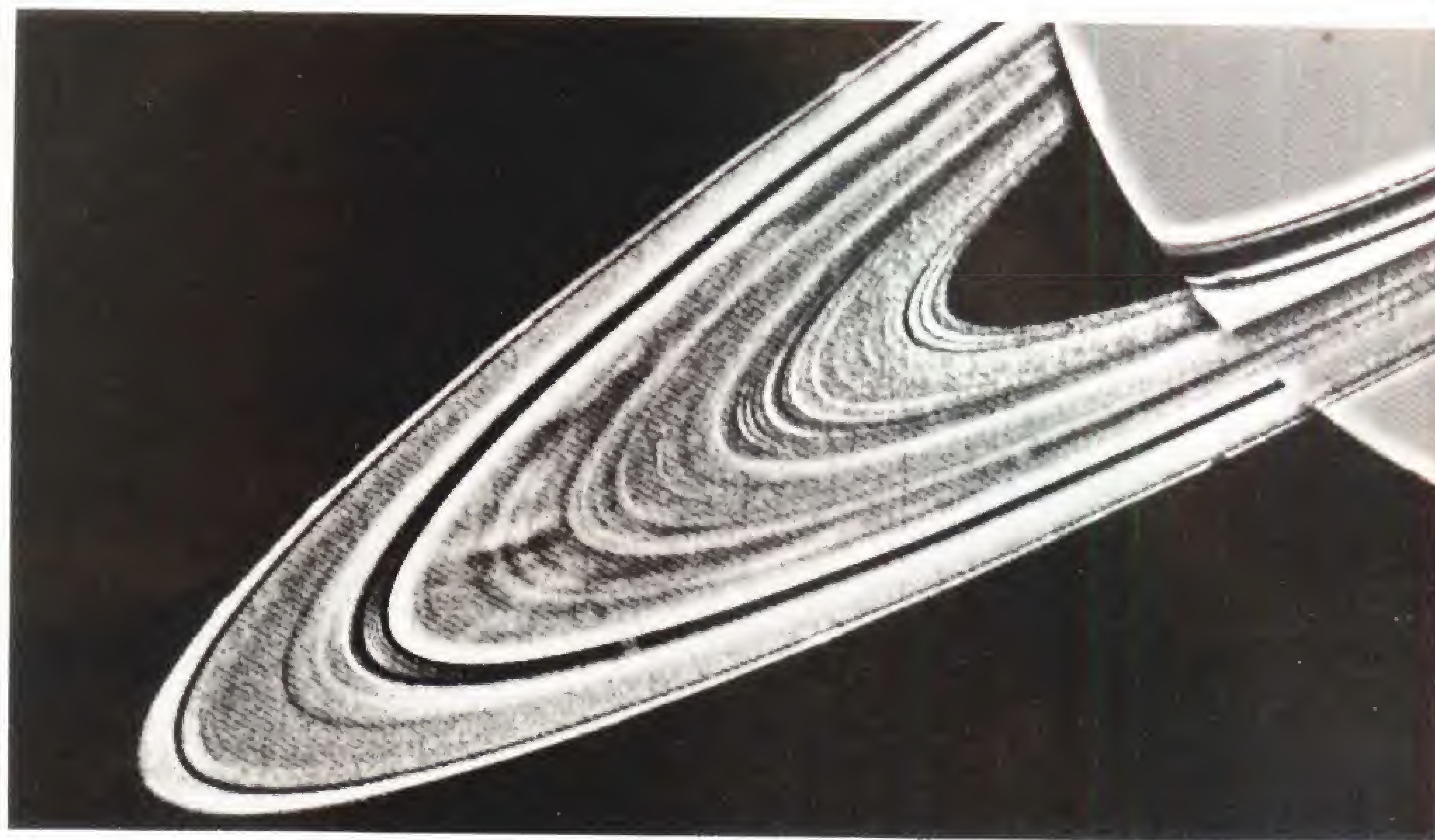
Se han analizado colectivos afectos del síndrome de Down (mongolismo) y sus padres, parejas de alto riesgo, es decir, aquellas en las que existan abortos espontáneos de repetición, mortinatos y/o malformados y, finalmente, niños o adultos afectados de subnormalidad o de algún tipo de malformación que se presume tiene un origen genético, especialmente cromosómico. Como población control, que sirva de punto de referencia para una interpretación correcta de los resultados de la población patológica, se han examinado parejas con descendencia normal, es decir, con dos o más hijos sanos, que no presenten en su descendencia abortos o malformados, y una muestra de neonatos de ambos sexos, clínicamente sanos, y estudiados a lo largo de diferentes épocas del año.

Se ha valorado la frecuencia y tipo de heteromorfismos cromosómicos presente en las diferentes muestras analizadas y su posible incidencia sobre el fenotipo o sobre la progenie. En el caso del síndrome de Down (mongolismo) se ha observado que la frecuencia de casos de origen materno es 3 veces superior a la de origen paterno, sin embargo, en ambos casos la proporción entre errores de la 1.ª y 2.ª división meiótica es la misma (5:1). En el campo de la diagnosis y prevención de diferentes trastornos del desarrollo la investigación se ha cristalizado, para casos patológicos con incidencia en el aparato reproductor, en el análisis y tipificación del antígeno de histocompatibilidad H-Y, junto al examen detallado de la estructura de los cromosomas sexuales, con el propósito de aportar nuevos datos en orden a la identificación y localización de los genes, estructurales o reguladores, que controlan los procesos de determinación y diferenciación sexual en el hombre. Por otra parte, es evidente la importancia que tiene el conocimiento de los aspectos básicos de la meiosis para la valoración de los mecanismos involucrados en la génesis de una cromosomopatía. En este sentido, se ha profundizado en dos aspectos fundamentales de la meiosis masculina, uno que se refiere al apareamiento de los cromosomas mediante su examen morfológico y ultraestructural y otro que dice relación con la dinámica y funcionalidad de dichos cromosomas.

Como resultado de todas estas investigaciones el Grupo de Genética Humana del C.S.I.C. ha logrado perfilar las características citogenéticas de diferentes síndromes polimalformativos y ha podido reconocer la etiología genética de muchos de ellos, con la eficacia que este conocimiento representa en el marco de una prevención primaria de tipo prospectivo. Cabe señalar su aportación para la posible localización de un gen para la microcefalia en el cromosoma 1, entre las bandas lq31-lq321 o sus trabajos para la identificación y configuración de ciertos síndromes, como la trisomía 22, la trisomía 8 en mosaico, la trisomía parcial para los brazos cortos del cromosoma 9 o la anomalía del cromosoma 22 en anillo, por mencionar algunos. Muchos de estos resultados han sido recogidos en tratados especiales de autores extranjeros, como, por ejemplo, De Grouchy, Emery, Zellweger, Vogel, Schinzel, Yunis, Therman o Borgaonkar.

Fundació Caixa de Pensions
25 años de fotografía espacial en el Museo de la Ciencia

Algunas de las mejores fotografías obtenidas por los ingenios que los Estados Unidos han lanzado al espacio se ofrecieron en la exposición «25 anys de fotografia espacial» que la Fundació Caixa de Pensions presentó el día 11 de diciembre en el Museo de la Ciència.



La muestra, diseñada por la Baxter Art Gallery del Instituto de Tecnología de California, recoge un total de 165 fotografías, muchas de ellas programas, que van desde los primitivos Ranger (1964-65), que fueron las primeras naves espaciales equipadas con una cámara de televisión y que nos mostraron imágenes del suelo lunar tomadas desde allí mismo, hasta el sofisticado Voyager 2 (1977-89), que en su periplo por el sistema solar ha obtenido sorprendentes visiones de mundos ajenos al nuestro, como Júpiter (1979), Saturno (1981) y Urano (1986) y nos mostrará Neptuno, cuando pase cerca de él en 1989.

A parte de los programas mencionados la exposición incluye también imágenes enviadas por el Surveyor (1966-68), Luna Orbiter (1966-68), Mariner a Venus y Mercurio (1973-75), Viking (1975-82), Seasat (1978), IRAS (1983) y SIR-A y SIR-B (1981-1984).

Por su actualidad se incluye un apartado con una selección de las imágenes sobre el cometa Halley obtenidas por las sondas soviéticas y la europea Giotto.

En los últimos treinta años, la cantidad de información recogida ha sido infinitamente mayor que en la de todos los milenios anteriores. Se calcula que el conocimiento actual de Marte es del orden de un billón de veces mayor que antes de la llegada al planeta del Mariner 4, en 1965. Lo mismo podríamos decir de los otros planetas explorados por las sondas espaciales (incluido el nuestro: la Tierra) y de la Astronomía en el infrarrojo, el ultravioleta, los rayos x y los rayos gamma.

A parte del evidente interés científico de la muestra, el desarrollo que ha experimentado el arte de la fotografía, tanto en las técnicas de obtención de imágenes a grandes distancias o bien generadas por radar, como en el proceso y reproducción, hace que lo que nació como una herramienta para la ciencia, se convierta en un conjunto de alto contenido estético; lo demuestran los más de 115.000 visitantes que recibió la exposición cuando fue expuesta en la Baxter Art Gallery (Pasadena, California) a mediados de 1985 y en la IBM Gallery of Science (Nueva York) los últimos meses del año.

Vacuna universal contra la gripe

Las vacunaciones actuales contra la gripe están lejos de ser perfectas, pues combaten un virus determinado, actúan sólo dentro de 2-3 semanas y hay que vacunarse cada año. Como por ahora no se ha logrado pronosticar el virus que provocará la epidemia de turno, los científicos soviéticos han emprendido otro camino.

Las vacunas tradicionales, por su esencia, son los mismos virus, sólo que debilitados. Al inocularlos es como si mostráramos a los linfocitos –personajes principales de nuestro sistema inmunológico– la foto del futuro enemigo. Así, ellos pueden armarse, produciendo anticuerpos, los que luego, durante la enfermedad, rápidamente reconocen y neutralizan al virus aparecido en el organismo. Pero ello sucede solamente en el caso de que éste efectivamente se parezca a su foto. Y como el virus de la gripe es inconstante, el ejército de los anticuerpos no reconocía a su viejo enemigo disfrazado y la vacuna no funcionaba.

Seguir por este camino no conducirá al éxito, porque las investigaciones hechas muestran que las albúminas que componen las membranas de los virus gripales cambian sin regularidad alguna. Por eso no quedó otro remedio que concentrar nuestros esfuerzos en un diminuto sector proteico de 20 aminoácidos de largo, que es idéntico en la membrana de cualquier virus. Como esta albúmina permite reconocer al agente de la gripe en todas sus mutaciones, había que hacer que los anticuerpos atacaran precisamente a esta parte inalterable de la membrana. Una vacuna así podría convertirse en un arma universal contra la gripe.

Por desgracia, los linfocitos no advertían esta albúmina y no producían los anticuerpos necesarios, es decir, ella no era inmunogene. Pero la esencia de la idea que habíamos propuesto el académico Rem Petrov y yo consistía precisamente en convertirla en inmunogene. Para ello debíamos «coser» la albúmina a la molécula de una sustancia que obligaría a los linfocitos a reaccionar activamente.

En esta etapa se incorporaron a nuestro trabajo los especialistas de la Cátedra de Compuestos Macromoleculares de la Universidad de Moscú, encabezados por Kabánov, miembro correspondiente de la Academia de Ciencias de la URSS. Los químicos nos propusieron que no buscáramos tales sustancias en la naturaleza –pues eso sería un proceso largo y complejo–, sino que las sintetizáramos.

Los experimentos mostraron que para nuestros objetivos nos servían los polielectrólitos, polímeros sintéticos que se disuelven muy bien en el agua, son innocuos y contienen muchas cargas eléctricas, por lo que interactúan bien con las células del organismo. Los sucesos principales comenzaron a desarrollarse después de quedar en claro que los polielectrólitos en efecto hacían que los linfocitos produjeran anticuerpos. «Cosimos» a la molécula del polímero aquella albúmina del virus que antes no provocaba inmunidad, e inoculamos el compuesto obtenido a las ratas. Luego las contagiamos con el virus de la gripe, mortal para ellas.

Cuando las ratas sobrevivieron, quedó en claro que la vacuna funcionaba, y no dentro de 2-3 semanas, sino de inmediato. Para convencernos de la efectividad de nuestro preparado, contagiamos a las ratas con ocho variedades de virus gripales. Y en todos los casos los animalitos sobrevivieron. De ahí que podamos hablar de una vacuna universal contra todos los virus de gripe conocidos.

A primera vista, este éxito reviste un carácter puramente teórico, porque para obtener esta vacuna en cantidades necesarias habría que «cortar» millones de albúminas de los virus, cosa que no se puede hacer industrialmente. Pero ésta es una dificultad aparente, porque las albúminas virosas también pueden sintetizarse de algunos aminoácidos. Nuestros últimos experimentos confirman que ellas no funcionan peor que las naturales, y ya hemos obtenido un preparado que consta por completo de moléculas artificiales.

Cuando aprendamos a sintetizar las vacunas, podremos obtener preparados que nos protegerán de decenas de infecciones diferentes, por ejemplo, de muchas enfermedades de resfriado. En principio, nada nos impide «coser» a la molécula del polielectrólito no un inmunogene sino varios a la vez. Pero eso será cosa del futuro. Por ahora estamos preparando nuestra vacuna experimental para probarla en la gente. APN.

Por Rajim Jaikov, subdirector del Instituto de Inmunología de Moscú.

Nuevo equipo AGFA GX 2500 de AGFA-GEVAERT



El nuevo equipo AGFA GX 2500 presentado por la firma Agfa-Gevaert permite la realización de gráficos generados por ordenador sobre diapositivas o transparencias.

El paquete lógico que se acompaña puede realizar dos tipos de funciones: gráficos automáticos instantáneos (textos, histogramas, diagramas, curvas, zonas, tartas y cuadros) y aplicaciones artísticas (creación de símbolos y dibujos, así como la manipulación práctica de elementos de concepción gráfica). También puede almacenar en memoria hasta 10 paletas con 64 colores seleccionados de los 4096 disponibles.

Con el sistema AGFA GX 2500 pueden obtenerse rápidamente diapositivas de 35 mm de gran calidad (con una resolución de 4000 × 2732 puntos) y transparencias. También pueden realizarse pruebas en color o blanco y negro sobre papel.

El sistema en sí es modular y se compone de un ordenador compatible AT con 1 MB de memoria, un monitor en color con una resolución gráfica de 521 × 720, una tabla digitalizadora, una impresora y una cámara.

Con el equipo AGFA GX 2500, a buen seguro van a revolucionarse las presentaciones de todo tipo de acontecimientos.

Sistema ITT de traducción asistida por ordenador

En el Centro de Traducción y Lingüística de ITT, situado en Harlow (U.K.), se ha desarrollado un sistema de traducción asistida por ordenador que duplica la efectividad de sus traductores profesionales. Implementado en un miniordenador es capaz de traducir a o desde castellano, francés, inglés y alemán.

El sistema logra una precisión entre el 60 y el 70 %, el resto, es decir, la revisión final, debe realizarla el traductor. Éste aumenta notablemente su rendimiento gracias a que el ordenador puede realizar la traducción fuera de las horas de trabajo. La revisión final se realiza también sobre el ordenador, lo que garantiza una sintaxis y un estilo correctos.

Actualmente este sistema se utiliza sobre todo para traducir material técnico de tipo electrónico, a tal fin, el departamento de lingüística de ITT ha creado una base de datos con los términos técnicos apropiados que es actualizada periódicamente.

A pesar del éxito actual, la opinión más generalizada entre los expertos indica que tendrá que transcurrir todavía mucho tiempo antes de que un ordenador sea capaz de realizar completamente una traducción, sin ninguna intervención humana.

Sistema/36 de IBM



El Sistema/36 de IBM se presenta como la solución más inteligente a la tarea de automatizar cualquier tipo de proceso que requiera varias pantallas trabajando a la vez y a pleno rendimiento.

Existen tres modelos de unidad central de acuerdo a las necesidades propias de cada caso. Las diferencias fundamentales entre ellas se hallan en las distintas capacidades de memoria, de disco y de comunicaciones, así como en el número de estaciones de trabajo en conexión local que pueden conectarse (hasta 72 en la 5360, hasta 28 en la 5362 y hasta 16 en la 5364, en este último caso la primera debe ser un Ordenador Personal).

Las estaciones de trabajo pueden conectarse en modo local o remoto, siendo totalmente transparente de cara a su utilización. Tanto pantallas como impresoras incorporan el nuevo estándar de caracteres IBM que permite la utilización de los símbolos ortográficos de las diversas lenguas del estado español.

El Ordenador Personal de IBM puede ser conectado al S/36 como estación de trabajo inteligente, así puede utilizarse como ordenador autónomo o como pantalla del Sistema/36 aunque también son permitidas transferencias entre ambos y la utilización, por parte del PC, de la potencia del S/36.

El soporte lógico que acompaña al Sistema/36 es de gran envergadura. Basado en 4 lenguajes de alto nivel (RPGII, COBOL, BASIC y FORTRAN), existe un amplio catálogo de programas desarrollados por IBM y otras empresas de logiciales.

Nuevo plotter DPX-2000 de Roland DG

Las tareas de Diseño Asistido por Ordenador (CAD) necesitan adecuados periféricos para poder manifestar en toda su intensidad la potencia del ordenador. En general, con una buena impresora gráfica se consiguen resultados bastante satisfactorios. Sin embargo, si se desea precisión, rapidez, tamaño mayor y varios colores, hay que recurrir a un plotter.

La empresa Roland DG ha presentado su nuevo plotter DPX-2000, en tamaño DIA-A2 con una velocidad de 400 mm/s en cualquier dirección, una densidad de 12.5 micras/paso y hasta 8 plumas intercambiables de diferentes colores y anchos. El cambio de plumas es automático, poseyendo un sensor que selecciona la velocidad y presión adecuados a cada tipo de pluma, presenta también un mecanismo de apoyo suave de la pluma (softlanding). Las plumas no utilizadas son cerradas automáticamente, en los tiempos de espera se retorna la pluma al soporte, se evitan pérdidas de tinta al levantar automáticamente la pluma cuando ésta permanece estática en el mismo punto. El papel se sujeta de forma electroestática y el plotter puede operar inclinado hasta 80 grados permitiendo un considerable ahorro de espacio.



CORRESPONDENCIA

La Astrofísica en España

El artículo «La Astrofísica en España vista a través de las Bases de Datos» por Manuela Vázquez Valero, publicado en el mes de octubre de 1986 (M.C. n.º 62, pág. 1002) ha generado la correspondencia que reproducimos a continuación:

Centros e investigadores

El pasado mes de octubre se publicó en esta revista (*Mundo Científico*, n.º 62) el artículo titulado «La Astrofísica en España vista a través de las bases de datos» donde se presenta un análisis de la producción española en esta disciplina. Según se desprende de los criterios seguidos en la elaboración de la estadística efectuada, hay que suponer que el objeto principal de este estudio no son tanto los investigadores propiamente dichos, sino los centros donde trabajan. Tal precisión es necesaria por cuanto ambas cosas no son, en absoluto, equivalentes: los últimos permanecen mientras los primeros cambian. Como veremos, tal distinción no fue considerada, por los autores del estudio que nos ocupa, con la debida cautela y ello ha comportado un sesgo importante en los resultados.

Obviamente, en dicha estadística quedaban excluidos todos los investigadores españoles que durante el período de tiempo considerado en la muestra se hallaban trabajando en centros extranjeros fuera, e incluso dentro, de nuestras fronteras. Lo que no se advierte tan fácilmente es que, dados los criterios aplicados, quedaba también automáticamente rebajada la productividad de los investigadores que pertenecieron a un centro español durante sólo parte del mismo período de tiempo. Sin embargo, a la hora de obtener el rendimiento de cada centro mediante el cociente publicaciones/autores, aquéllos sí se consideraban «a tiempo completo». En este sentido, tal proceder no sólo perjudica a algunos investigadores individualmente, aspecto tal vez sin ninguna importancia para los autores del estudio, sino también a sus centros respectivos...

Pero no termina ahí el sesgo a la baja para los investigadores –y, en consecuencia, centros– que más «se mueven». Debido a que únicamente se incluían las publicaciones en que el primer firmante pertenecía a un centro español, quedaban nuevamente «castigados» de forma automática los investigadores –y centros– que participaron más activamente en colaboraciones internacionales, puesto que, evidentemente, no siempre han de ser los participantes españoles los que firmen primero. Este aspecto es particularmente preocupante en el sentido de que tal posibilidad haya podido pasar desapercibida para los autores de la estadística. ¿Significa ello que les parece difícil que investigadores españoles participen en colaboraciones internacionales? Por el contrario, si fue advertida, ¿por qué no se tuvo en cuenta ni se comentó?

Si las repercusiones de este tipo de sesgos es importante para los centros analizados, lo es, sin duda alguna, mucho más para algunos investigadores concretos. A título de ejemplo, el que suscribe el presente artículo, miembro del Depto. de Física de la Tierra y del Cosmos de la Universidad de Barcelona desde octubre de 1980, cuenta con 12 publicaciones durante el período de tiempo incluido en la estadística (1980-1984) y en las revistas consideradas en las mismas fuentes de datos (INSPEC). Con esta cifra debiera haber aparecido en segundo lugar en el «ranking de productividad por autores individuales» mientras que, por una y otra de las razones antes comentadas, ni tan sólo figura en la tabla correspondiente... Hay que hacer notar que, en la presentación de dicha tabla, se decía textualmente: «... solamente 11 (autores) han producido 5 o más trabajos en el período estudiado, o sea, al menos un trabajo al año...». En otras palabras, a aquellos autores que han estado colaborando con científicos de centros extranjeros y produciendo a buen ritmo, no sólo no se les reconoce la labor realizada, obsequiándoles con el desprecio del olvido, sino que encima se les tacha implícitamente de poco productivos.

Otros muchos aspectos de la estadística podrían, o mejor dicho, deberían ser criticados en aras a la objetividad que este tipo de trabajos debiera perseguir. El que ha motivado el presente artículo es únicamente un ejemplo, si bien de notorias consecuencias para las víctimas del sesgo aludido. Todo ello me lleva a dudar del interés que pueda tener la elaboración de este tipo de trabajos donde la imparcialidad y completitud son atributos imprescindibles y difícilmente alcanzables. Y uno se pregunta: ¿qué otras estadísticas deben circular en las altas esferas de la política científica?

Dr. E. Salvador Solé
Profesor Titular de Astronomía y Astrofísica.
Depto. Física de la Tierra y del Cosmos. Univ. de Barcelona.

Sr. Director:

Soy investigador del Departamento de Física Moderna de la Universidad de Granada y «Doctor Vinculado» al Instituto de Astrofísica de Andalucía (I.A.A.). En los años 1980-84 (años a los que se refiere el artículo «La Astrofísica en España vista a través de las bases de datos», escrito por D.ª Manuela Vázquez Valero, en el n.º 62, del mes de octubre de *Mundo Científico*) dirigía un equipo de investigación sobre «Atmósferas Planetarias». Los artículos de Revista logrados por mi equipo figuran, efectivamente, en la lista correspondiente al I.A.A., en la tabla VIII del artículo de la Sra. Vázquez, identificables fácilmente porque las revistas más usuales sobre Atmósferas Planetarias son diferentes. Adjunto mi «Curriculum Vitae» donde se incluyen los artículos internacionales en el período 1980-84, siete de los cuales (denotados con un asterisco) están incluidos con toda seguridad en la tabla VIII.

De acuerdo con estos datos, hay 7 artículos de los que soy autor que forman parte del material de trabajo de la Sra. Vázquez. A estos 7 artículos habrá que sumar probablemente alguna Comunicación a Congresos Internacionales (presenté 9, así que alguna aparecerá reseñada en la base INSPEC). Con más de 7 trabajos, mi nombre debería figurar en la lista de investigadores con mayor producción de la tabla IV. Sin embargo he sido suprimido de tal lista. Exijo una rectificación, pues esta omisión es lesiva, no solamente para mí personalmente, sino para las Instituciones a las que pertenezco.

Estos trabajos fueron realizados en colaboración con la Universidad de Granada. La Sra. Vázquez afirma que cuando sólo se adjudica a un Centro de Investigación un trabajo realizado por dos, no tiene importancia al hacer estudios comparativos «pues es lógico suponer que el error inducido afecta por igual a todas las instituciones». Se equivoca, en la Universidad de Granada hay 7 trabajos (como mínimo) realizados por 4 investigadores (todos del mismo Departamento), lo cual la hubiera situado, con un índice «trabajos/autor» de aproximadamente 2, a la cabeza de la tabla III (aunque no puedo tener mucha confianza en estas tablas).

Sin embargo, la Universidad de Granada está completamente ausente en el artículo de la Sra. Vázquez.

En mi opinión, además, las discusiones del artículo minimizan la importancia de la producción astrofísica de la Universidad.

Se trata de un análisis inadecuado de datos objetivos, y lo que es peor, la tabla IV no se deduce de estos datos objetivos. El fruto de un investigador y de un Centro de Investigación es, en buena parte, su prestigio, lo que ha sido menospreciado por este artículo.

Un respetuoso saludo

Eduardo Battaner López
Prof. titular de Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica
Departamento de Física Moderna
Universidad de Granada

Sr. Director:

En el número del mes de octubre, su colaboradora Dña. Manuela Vázquez, publica un artículo titulado «La astrofísica en España vista a través de las bases de datos». En principio debo refutar unas conclusiones, que aparecen en la tabla IV, basadas en una muestra, tabla V, que incluye con el mismo peso artículos publicados por ejemplo en una revista como Astronomy and Astrophysics y

en el Information Bulletin of Variable stars y los Coloquios de Mecánica Estadística de Sitges. La inserción de estos últimos es por lo menos sorprendente, cuando no se consideran comunicaciones a congresos internacionales, específicamente astrofísicos. Tampoco aparecen todos los artículos publicados por mí y algunos de mis compañeros del Departamento en el conjunto de las revistas muestreadas. Junto a estos errores, hay que añadir la inclusión, aún cuando sea compartida, del Dr. Giménez Cañate, en el Instituto de Astrofísica de Andalucía, y considerar únicamente el lugar de trabajo de primer firmante, penalizando colaboraciones con centros extranjeros, y obviando la circunstancia de que en muchas ocasiones esta lista se hace por orden alfabético o con otros criterios que no tienen que ver con el peso de los diferentes coautores en la elaboración del artículo.

Estos aspectos no tendrían mayor importancia si no afectaran a personas que son inadecuadamente evaluadas públicamente, en función de un rendimiento, del que dependen en ocasiones su estabilidad y promoción profesional.

A pesar de que la autora pretende reducir su particular análisis al mero contenido un banco de datos «sui generis», tengo el convencimiento, compartido por compañeros de otras especialidades a quienes he mostrado el artículo, que se proporciona una visión parcial y gravemente deformada de la astrofísica nacional. Se ignora que, en nuestro país, el desarrollo de la astrofísica se ha iniciado mucho más tarde que la mayor parte de las grandes líneas de investigación, partiendo prácticamente de cero, sin bibliotecas, infraestructura de laboratorios, carentes de instrumentación, sin plazas dotadas, etc. Que una gran parte del esfuerzo, realizado en estos últimos años ha ido precisamente destinado a conseguir los medios que hicieran posible lo que hoy es una realidad: Una presencia española creciente en las revistas de mayor difusión internacional, unos equipos de investigación a los que se invita a participar en colaboraciones internacionales y también, a nivel de centros españoles, una relación entre publicaciones internacionales y plazas dotadas que puede competir sin desdoro con las que presentan equipos de investigación y departamentos con más antigüedad, solera y porque no decirlo, mejor prensa. Esta dedicación y esfuerzo al inicio de líneas de investigación, a la programación científica y equipamiento instrumental, que escapa a los análisis de su colaboradora, quizá por su difícil inclusión en un banco de datos, cuando es realizado con rigor y seriedad es fuertemente apreciado por comunidades con más tradición investigadora que la nuestra y explica, por ejemplo, la concesión reciente a un astrofísico español, del doctorado «Honoris Causa» por la Universidad de Copenhague.

Manuel Rego Fernández
Catedrático de Astrofísica
Universidad Complutense
Facultad de Física

El reciente artículo titulado «La Astrofísica en España Vista a Través de las Bases de Datos», de D.ª Manuel Vázquez Valero, aparecido en el n.º 62 (octubre 1986) de *Mundo Científico*, suscita de inmediato buen número de críticas, rectificaciones y comentarios por parte de quienes conocemos mínimamente la situación real de esta disciplina científica en nuestro país. Imagino, por lo tanto, que surgirán abundantes escritos, tanto de investigadores individuales como de centros cuyas contribuciones se reflejan de modo distorsionado (o no se reflejan en absoluto) en el mencionado artículo. Con el presente pretendo, aparte de puntualizar cuál ha sido realmente la del Departamento de Física de la Tierra y del Cosmos (hoy de Física de la Atmósfera, Astronomía y Astrofísica) de la Universidad de Barcelona durante el período analizado, presentar algunas reflexiones más generales acerca de la discutible metodología del referido estudio y hacer además algunas sugerencias. Creo que si a partir de la polémica que ese artículo levantará sin duda se llegara a sentar bases más rigurosas para evaluar la producción científica, tanto individual como colectiva, ello redundaría en notable beneficio de nuestra actividad investigadora.

El método del trabajo es calificado en los subtítulos de «objetivo y científico, ya que los resultados son repetibles en cualquier lugar y sin tener que recurrir a la información facilitada por los propios investigadores, que en ocasiones es difícil de conseguir». Estoy enteramente de acuerdo con que los resultados son, en principio, repetibles (aún con alguna salvedad importante), pero ¿garantiza ello sin más que el método sea «objetivo y científico»? Seamos serios: se trata de evaluar la producción científica de investigadores y centros, la productividad de individuos y grupos, en base a unos criterios cuantificables. Aún sin manipulaciones «a posteriori», la selección de los datos a recoger y de los parámetros que van a tenerse en cuenta introduce ya toda clase de sesgos. Tomemos, por ejemplo, algo en apariencia tan inocente y «neutral» como la forma misma de recuperación de los datos: el archivo INSPEC, al ser consultado por ordenador de la manera en que se ha hecho, informa sólo de los artículos cuyo primer firmante trabaje, en el momento de su publicación, en algún centro radicado en España. Ello significa que los centros que mantengan frecuentes colaboraciones con el extranjero se verán penalizados con la supresión de una parte tanto más importante de su producción cuanto más asiduas sean esas colaboraciones. El «provincianismo» será, por contraste, sistemáticamente premiado. Los investigadores afectados pueden llegar, incluso a «desaparecer». Tal es el caso de los Profs. Eduardo Salvador y Blas Sanahuja, de nuestro Departamento; de los Profs. Teodoro Roca y Carlos Sánchez, del Instituto de Astrofísica de Canarias, y de algunos más. Pretender que esto vaya a afectar a todos los centros más o menos por igual sería suponer que todos ellos tienen las mismas características, en contra de las conclusiones (y parece claro que también de las intenciones) del estudio. Al mismo tiempo, la producción global española en Astrofísica es artificialmente empobrecida, lo cual puede ser muy dañoso a la hora de compararla con la de otras disciplinas científicas.

La última reflexión enlaza con lo desacertado que es utilizar como única base de datos la INSPEC, cuando de Astronomía y Astrofísica se trata. La merma con respecto a la producción real es muy significativa. Así, refiriéndonos sólo a investigadores individuales, incluso los mejor «clasificados» sufrimos «descuentos» de entre el 30 % y el 50 %. Si a esto unimos los casos de «desaparecidos» («descuento» del 100 %), es fácil deducir que la producción real total es bastante más del doble de la reseñada. Un recuento que aspirase a ser completo debería combinar varias bases de datos y, en este campo, muy particularmente los «Astronomy and Astrophysics Abstracts» (Springer Verlag, Heidelberg; dos volúmenes al año). Una ventaja adicional de esta última sería la de distinguir las contribuciones en Astronomía y Astrofísica de aquellas que no lo son. La falta de dicha distinción falsea, por ejemplo, los datos que se refieren al Departamento de Física de la Tierra y del Cosmos de la Universidad de Barcelona, y ello del modo más negativo. Así, dado que el número de autores (que luego se utiliza para calcular la productividad) se obtiene contando los firmantes del total de artículos, la inclusión ocasional e indebida de alguno de estos últimos puede «hinchar» artificialmente un centro. Tal sucede, de forma espectacular, con nuestro Departamento. Según la Tabla III del trabajo de referencia sería éste el más numeroso (¡24 investigadores!) de toda España. Tras minucioso análisis de datos tan sorprendente, se llega a la conclusión de que hemos sido «obsequiados» con no menos de 10 autores suplementarios (cada uno de los cuales ha contribuido sólo con una fracción de artículo). La vía principal para ello ha sido la inclusión (totalmente injustificada) de la «Revista de Geofísica» entre las fuentes de publicaciones. Así, los especialistas en Física del Aire y en Geofísica de nuestro Departamento son contados como astrofísicos, aunque no así la práctica totalidad de sus trabajos, los cuales aparecen en otras revistas, no incluidas en el estudio. Tomando pues una cifra más realista de autores, el índice de productividad T/A sube del 0.96 al 1.64 (y ello adoptando todas las demás cifras del estudio). Esto sin contar que se han suprimido totalmente las contribuciones de dos de los autores más prolíficos y que en el número de autores seguirían entrando personas que pertenecieron al Departamento durante sólo una pequeña fracción del período objeto del estudio. He destacado esta «inflación» de autores porque es un caso único y muy escandaloso (en todos los demás centros se contabiliza sólo a los astrónomos y astrofísicos). Otra «perla» del recuento es la supresión del Prof. Eduardo Battaner, de la Universidad de Granada, de la relación de «máximos productores» cuando 7 al menos de sus trabajos figuran en cambio en la lista de las publicaciones del Instituto de Astrofísica de Andalucía (del cual es además «doctor vinculado»). Es importante resaltar también que los profesores universitarios podemos dedicar, al menos oficialmente, a lo sumo el 50 % de nuestro tiempo a la investigación. Esto es básico cuando se comparan productividades con centros del CSIC, cuyos investigadores se supone que dedican el 100 % de su tiempo a dicha tarea.

Llegamos ahora a un punto fundamental y de tratamiento mucho más delicado: el de la calidad de los trabajos. En el artículo de D.ª Manuela Vázquez Valero se aborda tímidamente la cuestión a través del «factor de impacto» de las revistas (dado por el «Journal Citation Reports» del Institute for Scientific Information de Filadelfia). Digo tímidamente porque luego eso no se utiliza en ninguna clase de baremo y «hojas parroquiales» sin factor de impacto alguno siguen contando igual que «Astronomy and Astrophysics» (factor de impacto 1.930 y 9.ª en rango) e incluso que «Astrophysical Journal (Letters)» (factor de impacto 8.250 y 2.ª en rango). Por cierto que, como a esa altura del

artículo los centros universitarios ya formamos parte sólo de una «contribución muy dispersa», ello permite pasar por alto datos sin duda poco «convenientes», tales como que entre las publicaciones del ya bastante maltratado Departamento de Física de la Tierra y del Cosmos de la Universidad de Barcelona figuran una en «Astrophysical Journal (Letters)» (factor de impacto 8.250 y segunda en la clasificación del JCR), dos en «Astrophysical Journal» (factor de impacto 4.237 y tercera en el JCR) y otras dos en «Nature» (factor de impacto superior a 10 y primera entre las interdisciplinarias del JCR). La omisión de «Nature» perjudica también en notable medida al Instituto de Astrofísica de Canarias; en este caso resulta, encima, de haber «suprimido» a los correspondientes autores.

Si bien el «factor de impacto» o el «nivel» de las revistas indican algo acerca de la calidad de las publicaciones aparecidas en las mismas, existen métodos mucho más directos y reveladores para aquilatarla. Consisten en medir su «factor de impacto» propio a partir del número de citas que cosechan en la literatura científica posterior a su aparición. El «Science Citation Index», editado también por el Institute for Scientific Information de Filadelfia, es un instrumento universalmente empleado para ello (aunque el número de citas que recoge sea siempre una cota inferior del verdadero, pues no incluye las aparecidas en muchos libros y actas de simposios y coloquios). Incluso es posible comparar la persistencia de las citas a un artículo determinado con la «vida media» de los de la revista correspondiente (la cual viene dada también en el «Journal Citations Report» del ISC). Un uso adecuado del «Science Citation Index» debe adoptar, sin embargo, las siguientes precauciones:

a) Deben suprimirse del cómputo las *autocitas*, sea cual fuere el coautor de un determinado artículo que las haga.

b) Debe hacerse por *artículos* y no por *autores*. En efecto: el SCI reseña los artículos bajo el nombre sólo del primer autor (lo mismo sucede con las citas). Hay que seguir pues la trayectoria de un trabajo determinado a través del nombre de dicho primer firmante (aunque se esté analizando la producción de otro de los coautores).

Tenemos bastante avanzado ya un estudio de la producción astrofísica en España siguiendo esas líneas. Podemos adelantar que hace aparecer diferencias muy grandes entre autores que, en el trabajo que analizamos, figuran con producciones similares (artículos que superan las tres «vidas medias» frente a otros que no han sido nunca citados, por ejemplo) y que contradice en gran manera la conclusión a la que el mismo pretende demasiado obviamente llegar. Debemos señalar, sin embargo, que los índices o baremos de cualquier tipo nunca serán más que sucedáneos diversamente razonables de un análisis crítico de los trabajos, llevado a cabo por expertos en la materia y lo bastante imparciales. Ello más aún cuando se intenta evaluar productividades individuales. Aquí, en especial, la elección de un período u otro puede dar lugar a grandes fluctuaciones y hay que insistir en que mayor número de trabajos no implica necesariamente mayor calidad.

En relación con lo que antecede, debemos subrayar también que a la hora de comparar la Astrofísica con otros campos científicos hay que tener en cuenta que el número de investigadores y de publicaciones especializadas en Astrofísica es, a escala mundial, relativamente pequeño. Esto se ve con mucha claridad si se comparan, por ejemplo, los «factores de impacto» de la primera revista en rango de Astronomía y Astrofísica, según el JCR, la «Annual Review of Astronomy and Astrophysics» (10.303) con la primera de Bioquímica y Biología Molecular, la «Annual Review of Biochemistry» (29.400). A este respecto, tal vez lo único oportuno del artículo de D.ª Manuela Vázquez Valero sea la comparación con los dos centros de investigación alemanes (aún con toda su tendenciosidad): pone al menos de manifiesto esa relativa modestia de las cifras que se barajan, debida al reducido número tanto de investigadores como de revistas de la especialidad. Lo mismo que bromeábamos acerca de las «hojas parroquiales» en Astrofísica, tengamos bien claro que en otras especialidades más desarrolladas el número de esas «hojas» es también mucho mayor, lo cual es poderosa ayuda a la hora de engrosar los «curricula», tanto de individuos como de instituciones. Otra crítica al trabajo, referida ya al caso de España, es que no queda para nada de manifiesto lo reciente del desarrollo de la Astrofísica en nuestro país. Las primeras publicaciones en revistas internacionales datan sólo de la segunda mitad de los 60. Al limitarse a los años 1980-84, se enmascara el rápido despegue en el número y en la calidad de las mismas, muy patente por cierto a lo largo de los últimos dos años.

No podemos cerrar estos comentarios sin preguntarnos el por qué de la aparición de ese trabajo precisamente ahora y sin consultas previas a los centros e investigadores implicados. Próxima a implementarse la «Ley de la Ciencia», la sospecha de maniobra propagandística de cara a reclamar un papel privilegiado en la futura organización de la especialidad resulta harto legítima. Y el último párrafo del artículo aparece como tesis para llegar a la cual se han hecho tantas supresiones y adiciones. La Tabla IV, con su indelicada personalización, estaría, en este contexto, destinada a distraer las iras individuales de quienes se consideren mal (o nada) reflejados en la misma en relación con la sustancia del debate, que concierne a los centros, «mágicamente» reducidos primero a dos para luego, en un nuevo «pase», destacar a uno de ellos con análoga manipulación de los datos. Esperemos que sea en balde.

Ramón Canal
Catedrático de Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica
Universidad de Barcelona

Sr Director:
El artículo «La Astrofísica en España a través de las bases de datos», publicado el pasado mes de octubre en su revista, contiene, a nuestro juicio, errores de considerable magnitud.

Por ello, los investigadores del IAC hemos preparado la nota que se adjunta, la cual nos parecería de justicia fuese publicada en el próximo número del medio que «usted» dirige.

Esta nota recoge los datos reales de producción científica del Instituto de Astrofísica de Canarias así como unas consideraciones generales sobre el trabajo publicado.

Prof. Francisco Sánchez
Director del IAC

El artículo publicado el pasado mes de octubre en *Mundo Científico* sobre «La Astrofísica en España vista a través de las bases de datos», contrariamente a lo que sugiere su título, ofrece al lector una información muy limitada y, desde luego, errónea, cuando se compara con la producción real de las personas y de los grupos de investigación astrofísica en nuestro país.

Sin querer entrar en pormenores sobre la génesis tan curiosa del trabajo, el procedimiento seguido para el acopio de datos resulta significativamente peculiar: búsqueda tan sólo en la base de datos INSPEC, desarrollada por el Institute of Electrical Engineers de Londres (IEE), cuando hay otras fuentes internacionales específicas de Astronomía y Astrofísica; rescate de artículos por el lugar de trabajo del primer firmante, cuando las colaboraciones entre centros es lo usual en la especialidad; elección de un período de tiempo mucho más significativo en el desarrollo de esta ciencia que en su producción. Con este planteamiento, los resultados tenían necesariamente que rebajar de una manera escandalosa la realidad de la actual astrofísica española.

Como la información sobre la producción científica que conocemos bien y que tenemos totalmente documentada es la nuestra, las comparaciones que hemos hecho entre el artículo en cuestión y la realidad se refieren exclusivamente al Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC). No obstante, pueden ser válidos para conocer el índice de error que contiene el trabajo.

Unas observaciones previas: ni deseamos polemizar con la autora del artículo —nos consta que solicitó retrasar su publicación con la intención de completar los datos—; ni con el Instituto de Información y Documentación en Ciencia y Tecnología (ICYT), Instituto que pertenece al CSIC; ni queremos, por consiguiente, entrar en las motivaciones que podrían existir para preparar un estudio sobre la Astrofísica tan sumamente incompleto y tan de espaldas a la realidad. Tampoco pretendemos demostrar, porque tal vez no sea así, que el IAC en ese período, haya producido más que otro centro o grupo concreto. Consideramos que este Instituto, pionero indiscutible en el panorama de la Astrofísica española, ha llevado a cabo en estos años una bien conocida labor, no sólo en la creación de una base instrumental importantísima, abierta a todos los astrofísicos españoles, y en la formación de jóvenes investigadores y promoción de nuevos grupos de investigación, sino también, y por supuesto, en la propia producción científica, de la que más adelante se dan cifras correctas.

Antes de ofrecer estos datos, nos parece oportuno hacer las siguientes puntualizaciones.

1. La Astrofísica es una ciencia muy joven en España. No es una ciencia a la que se pueda pedir todavía una producción científica comparable a otras áreas de investigación, centenarias en algunos casos. Y esto, más que una disculpa, es un hecho. Como anécdota, se debe subrayar que el artículo citado contempla la producción del quinquenio 80-84 y que el IAC no adquiere personalidad jurídica definitiva hasta el año 1982, cuando por Ley es creado el Consorcio Público «Instituto de Astrofísica de Canarias». En una ciencia tan reciente, cada año que pasa supone un salto cuantitativo muy importante puesto que la curva de producción en artículos es, al menos en el IAC, una curva exponencial y, por consiguiente, el período contemplado no es, en absoluto, significativo.

Comparación entre los datos del trabajo y la producción real del IAC

TABLA III
(Relación trabajos/autores)

	N. trabajos (T)	N. autores (A)	Relación T/A
- Artículo M.C. 62. pág. 1003	18	22	0,82
- Producción real	44*	25	1,76
	80**	48	1,67
	127***	48	2,65

* Artículos en revistas extranjeras
** Artículos y comunicaciones a congresos internacionales
*** Artículos y comunicaciones a congresos nacionales e internacionales

TABLA IV
(Autores con 5 ó más artículos publicados durante el quinquenio)

	N. trabajos*	Según «Mundo Científico»
- Teodoro Roca Cortés	12	no consta
- Carlos Sánchez Magro	11	no consta
- Manuel Vázquez	8	7
- Pere Lluis Pallé	5	no consta

* Considerando sólo artículos en revistas extranjeras

TABLA VII
(Comunicaciones a congresos (CC) y artículos en revistas (AR) por años)

	1980		1981		1982		1983		1984		Total	
	AR	CC	AR	CC	AR	CC	AR	CC	AR	CC	AR	CC
- «Mundo Científico»	3	–	3	–	3	1	3	–	5	–	17	1
- Real	5	4*	7	7*	5	6*	10	7*	17	12*	44	36*
		21**		7**		11**		29**		15**		83**

* Comunicaciones a congresos internacionales
** Comunicaciones a congresos nacionales e internacionales

TABLA X
(Distribución por el número de autores por trabajo)

	N. trabajos* con n autores							Media autores
	n = 1	n = 2	n = 3	n = 4	n = 5	n = 6	n = 7	por trabajo
- Artículo «Mundo Científico»	2	6	8	1	1	–	–	2,6
- Relación real	4	5	12	13	6	3	1	3,5

* Artículos en revistas extranjeras

2. El IAC es un Consorcio público de gestión integrado por la Administración del Estado, la Comunidad Autónoma de Canarias, la Universidad de La Laguna y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Por esto, su producción es tan aplicable a la Universidad como el CSIC. No es correcta entonces la agrupación que se hace en la Tabla II de la publicación.

3. Como queda dicho, en el trabajo se examinan las referencias recogidas en una única base de datos: el INSPEC. El problema de esta base de datos es que únicamente atribuye el artículo al primer firmante, ignorando tanto los otros autores como su lugar de trabajo. En consecuencia, este sistema de consulta omite que un artículo es de todas las personas –y las instituciones a las que pertenecen– que han intervenido en su elaboración.

4. La producción científica de un centro de investigación astrofísica se mide por más parámetros que los considerados en el informe de referencia. Es necesario contemplar las publicaciones en revistas extranjeras y nacionales, número de citas de los trabajos, comunicaciones y participación en Congresos (extranjeros y nacionales), patentes y contratos de desarrollo tecnológico, número de tesis, número de tesinas, cursos impartidos, profesores visitantes, salidas y estancias en el extrajero, becas otorgadas al personal del centro, tiempo de observación obtenido en grandes telescopios (dentro y fuera de España), colaboración con otros grupos extranjeros y españoles, etc.

5. La discrepancia entre los resultados del trabajo publicado y la producción real se pone de manifiesto a la vista de las cifras comparadas que se adjuntan y que son comprobables por las fotocopias que acompañamos de las publicaciones.

6. Para finalizar, llama mucho la atención que, tratándose de un artículo dirigido a la opinión pública, no se hayan contrastado los resultados de la consulta con los datos reales. Nos consta que tanto los del IAC como los del IAA (Instituto de Astrofísica de Andalucía) estaban en poder de la autora, y no hubiese sido difícil obtener los de otros grupos y centros, puesto que no son tan numerosos. Al menos se debería haber advertido al lector de que el método seguido puede llegar a producir errores del 3.500 % cuando se compara con la realidad (comunicaciones de investigadores del IAC a congresos internacionales).

En relación con el artículo «La Astrofísica en España a través de las bases de datos», aparecido en el número de octubre, cometimos un error mecanográfico en la tabla IV, omitiendo el nombre de uno de los once autores. La tabla IV debe ser:

Nombre	Centro	N.º trabajos
Canal R.	Dep. Fís. Tierra Cosmos Univ. Cent. Barcelona	13
Isern J.	Dep. Fís. Tierra Cosmos Univ. Cent. Barcelona	11
Labay J.	Dep. Fís. Tierra Cosmos Univ. Cent. Barcelona	10
Rego M.	Dep. Astrofísica Univ. Complutense	9
Fdz. Figueroa M.J.	Dep. Astrofísica Univ. Complutense	8
Battaner E.	Inst. de Astrofísica de Andalucía	8
Giménez Cañete A.	Dep. Astrofísica Univ. Complutense e Inst. de Astrofísica de Andalucía	7
Garrido R.	Inst. de Astrofísica de Andalucía	7
Llorente de Andrés F.	Inst. Nacional de Técnica Aeroespacial	7
Vázquez M.	Inst. de Astrofísica de Canarias	7
García Pelayo J.M.	Inst. de Astrofísica de Andalucía	5
TOTAL		92

Manuela Vázquez.

LIBROS•LIBROS•LIBROS

Edición en castellano
Gran Atlas de Arqueologia
S.A. Ebrisa
420 pp. 1.000 ilustraciones

De esta obra reproducimos a continuación el *Prefacio:*

Gran Atlas de ARQUEOLOGIA



S.A. EBRISA

Este libro, atlas de la Arqueología, no es ni un libro de arte ni la exposición sistemática de uno o varios métodos. Pero, gracias a la acumulación de resultados, escogidos entre los más espectaculares o los más recientes, este texto aporta la presentación mas amplia de una disciplina. Su utilización permite preguntarse sobre la arqueología y los arqueólogos, sobre su especificidad, sus finalidades y el papel que juegan en el mundo actual, fuertemente dominado por el desarrollo de técnicas en las que la rápida renovación pone más en evidencia las novedades y cambios que las tradiciones y continuidades.

Se dice con razón, y ciertos capítulos de esta obra lo refrendan, que la arqueología, tal como se entiende en nuestros días, no es lo que fue: se ha hablado mucho y aún se habla, sobre todo en los países anglosajones, de una «nueva arqueología».

El tiempo de sus fundadores Winckelmann y Caylus parece lejano. Winckelmann, al que Goethe admiraba tanto, fue el iniciador de la larga tradición germánica que hace de la Historia del Arte una de las finalidades fundamentales de la Arqueología. Por otra parte, su contemporáneo Caylus estudió minuciosamente los objetos que coleccionaba. Hoy día, de un yacimiento a otro, se puede tener la impresión de que una inmensa distancia separa al arqueólogo, que busca datar un fragmento estatuario o reconstruir la alzada de un templo o palacio, del que recolecta polen para reconstruir el entorno vegetal de un lugar o del que busca comprender, a través de los restos de un horno, la tecnología de los broncistas o alfareros. Con frecuencia se oponen, en las instituciones que organizan u orientan la investigación arqueológica, los arqueólogos que, a semejanza de los prehistoriadores, buscan comprender culturas de las cuales tan sólo poseemos los restos materiales, a los que, en el dominio clásico, como en la arqueología medieval y moderna, pueden dar la impresión de que no hacen mucho más que completar o ilustrar aquello que nosotros ya conocemos por los textos.

Es cierto que, desde el punto de vista de los procedimientos y la metodología, así como de las preguntas y problemas, las ciencias llamadas exactas han contribuido largamente a dar a la arqueología de hoy día su propia fisonomía. Dejemos de lado la generalización de la excavación estratigráfica y la oposición, más importante de lo que se acostumbra a decir, entre los que consideran los cortes verticales, que muestran la superposición y la sucesión de etapas, y los que consideran los niveles horizontales que sólo hacen visible la realidad de cada una de las etapas. Los primeros se adaptan mejor a los lugares que contienen una arquitectura mejor o peor conservada, que, por ella misma, organiza el espacio, y los segundos a los yacimientos de tipo prehistórico, en los que sólo una visión global de cada nivel permite comprenderlo. Señalemos también que no es propósito de este atlas asumir el papel de la Informática en la explotación de los datos y los objetos: en cuanto a la informatización, los arqueólogos están aún en el nivel de elaboración de sistemas de descripción y explotación; es evidente que el incremento del número de los datos, así como el cuidado por olvidar el menor número posible de elementos obligan a procedimientos documentales de tipo matemático. Ahora bien, esto no modifica fundamentalmente los métodos de razonamiento ni hace necesario destronar el libro, único capaz de formular de manera accesible todos los problemas y resultados. Es necesario que los arqueólogos estén abiertos a los métodos informáticos y que los informáticos se interesen por la arqueología para adaptarse a este aspecto particular de las ciencias humanas.

No hay duda que, desde la excavación al laboratorio, nos encaminamos hacia una arqueología interdisciplinaria, gracias a los especialistas en ciencias exactas o naturales interesados por el pasado y sus testimonios. El término de «Arqueometría» procede de Inglaterra y se ha hecho de uso común a pesar de la variedad de problemas y procedimientos que encierra. Se conocen los importantes progresos que la física nuclear ha aportado a los métodos de datación: el carbono 14, «corregido» después de una mejora muy importante de los métodos, resulta irremplazable para la determinación de los niveles medios de antigüedad, para lá termoluminiscencia y los «calendarios» más complejos, puestos a punto por los prehistoriadores para los períodos más antiguos, que permiten remontarse a edades geológicas y, en particular, datar la aparición del hombre. Los procedimientos son cada vez más numerosos y los resultados más exactos.

A pesar de los notables precursores del siglo XIX, el estudio de los materiales y de las técnicas es el objeto de investigaciones muy importantes. Hace mucho tiempo que se identifica, en los monumentos de Roma, el cipolino, mármol veteado con franjas azulverdosas, traído de Karistos en Eubea y también el mármol africano, rojo y negro, o incluso los mármoles blancos, tales como el de Tasos. Esto diferencia la arquitectura de Roma de la de Grecia, que no fue tan lejos en la búsqueda de mármoles ni se preocupó tanto por los colores. Como mucho, los arquitectos del tiempo de Pericles asociaron en la Acrópolis dos tipos de mármol blanco: el Pentélico, para las grandes construcciones y el de Paros, para las esculturas, el mármol azulado de Eleusis para los pasos de los Propileos –paso del mundo profano al dominio sagrado– y para el fondo del friso del Erecteion, hecho con figuras perfiladas en mármol blanco. El geólogo y el petrógrafo se hacen auxiliares indispensables de los especialistas en arquitectura y escultura ya que los recientes avances en el estudio de los minerales abren nuevas perspectivas. Aún existen numerosos problemas en relación a los mármoles griegos y romanos, no obstante, se sabe distinguir perfectamente las diferentes obsidianas o reconocer, mediante el examen microscópico de cerámicas, las diversas inclusiones, lo que es un elemento más decisivo para determinar el lugar de fabricación de un tipo de vasos que el mismo análisis de la pasta cerámica. La detección de falsificaciones –esculturas u objetos diversos– no es más que uno de los resultados de las investigaciones que permiten ante todo el estudio del transporte y el comercio de la piedra, necesario para la comprensión de las preocupaciones estéticas de los artistas o de sus mecenas.

El estudio de los pigmentos coloreados permite descubrir el origen de las materias primas e identificar las técnicas empleadas. Hacia el 1500 a.C., los pintores de Santorín tienen tradiciones de taller que los distinguen de sus contemporáneos de Egipto y de Creta. Para los metales, cuyo estudio está muy desarrollado, el examen tecnológico es inseparable de la interpretación histórica. A la tradicional e indispensable tipología se une ahora la reconstrucción de procesos de fabricación y la determinación del origen de los minerales. Esto último interesa de una forma muy especial a los numismáticos del ámbito europeo y mediterráneo y aquello a los protohistoriadores. La arqueología clásica integra poco a poco estas dos preocupaciones. Gracias a ellas se entiende, de una nueva manera, el paso de la Edad de Bronce a la Edad de Hierro en Grecia y Europa occidental, aunque el diálogo no es siempre fácil entre los lingüistas que han descifrado la escritura micénica y los especialistas en metalurgia.

Todo esto –y se debería hablar de otras técnicas, en particular de la cerámica– no debe hacernos tomar los medios que nos da la física moderna como un fin. Se puede, al hojear las revistas de arqueometría, medir el riesgo de atenerse a los diagramas de composición o a las fotografías de estructura cristalina. El fin de la arqueología es comprender las modalidades y los fines de una actividad humana: es el resultado de las técnicas y formas lo que constituye el verdadero problema. El estudio preciso del «pulido de los cereales» sobre un sílex prehistórico, la reconstrucción del plano de una cabaña neolítica o la determinación de la temperatura de cocción de un vaso nos remiten al hombre y a su gesta. Hace falta, entonces, salir del laboratorio para mirar cómo trabaja un tallista de la piedra o un broncista africano. Las observaciones científicas hacen referencia actualmente a las viejas técnicas, en general, en vía de desaparición: las investigaciones de laboratorio tienen como complemento necesario la observación de las tradiciones que es el primer motivo para que se hagan referencias a mundos no europeos que aún las conservan.

Estamos aparentemente demasiado lejos de la imagen tradicional de la arqueología heredada del siglo XIX. Hace cien años, la arqueología era, en el campo clásico, una arqueología directamente relacionada con los textos, para lo mejor y para lo peor. Lo peor, probablemente, fue la reconstrucción gráfica

de obras perdidas mediante antiguas descripciones que van desde el cofre de Kypselos visto por Pausanias en Olimpia a las pinturas murales de los Cnidios en Delfos. Por el contrario, la gran excavación de Delfos se efectuó, en cierta manera, guiada por la mano de Pausanias. Este yacimiento fue durante mucho tiempo, y quizá todavía lo sea, el mejor ejemplo de ayuda recíproca que se recibe de los textos transmitidos por la tradición manuscrita y las inscripciones descubiertas en el mismo yacimiento.

El desarrollo de la arqueología de las civilizaciones sin escritura tiende a hacer olvidar un poco este aspecto, hasta el punto de pretender que, por ejemplo, en el mundo clásico, un solo especialista de la lengua, capaz de comprender las inscripciones, sea suficiente por cada equipo de excavación. No se ha terminado de indagar en los textos y, cuando se tiene la suerte de poseerlos, ellos solos permiten comprender verdaderamente lo que el yacimiento descubre. Por dar algunos ejemplos, se acaba de hacer un acercamiento decisivo entre un texto y una imagen acerca del célebre mosaico de Alejandro de Pompeya. Gracias a las descripciones de los españoles se ha reconocido inmediatamente el gran templo de México, el mayor descubrimiento de los últimos años. El descubrimiento de nuevos fragmentos del trono de Bathykles, dedicado a Apolo en Amiclai, cerca de Esparta, permite releer la descripción, dada por Pausanias, que aclara los fragmentos y sugiere una reconstrucción verosímil. En un aspecto más lejano de la arqueología técnica, la gran pintura de la tumba de Filipo II, poco posterior a los textos de Platón, nos permitirá mejorar en la captación de lo que el filósofo escribió sobre la imitación y la ilusión, poco después de que matemáticos, filósofos y pintores –sin olvidar a los decoradores de teatro– hubiesen lanzado, en íntima colaboración, las bases de las reglas de la perspectiva, creando así el espacio pictórico. En resumen, existe una especificidad de civilizaciones con escritura que la arqueología del mundo moderno debe tener en cuenta. Las nuevas técnicas y la aportación de las ciencias exactas modifican y enriquecen esta arqueología, mas no cambian su naturaleza.

Por tanto –o a causa de ello– el estudio de civilizaciones sin textos ha aportado una nueva dimensión, la más importante sin duda, a la arqueología actual. No teniendo la preocupación de descubrir los trazos de hechos conocidos, la arqueología histórica y la de la mayor parte de los mundos no europeos han evolucionado bajo la presión de las ciencias sociales o humanas. Hay ahí una extraordinaria ampliación similar a la que, en su mismo tiempo, conoce la historia.

De la misma forma que hoy día hay una historia de larga duración, hay una Arqueología de técnicas y costumbres que pone en evidencia las permanencias y las evoluciones lentas, donde lo que cuenta no es el elemento puntual. Las cabañas de los pastores de la Grecia de ayer, los arados turcos de hace treinta años, en los que la reja era un sílex, no son fósiles: son las últimas manifestaciones de una fase de la actividad humana. Lo que la arqueología descubre sobre la tierra se aclara por las permanencias que la etnología halla en las civilizaciones en vía de desaparición.

Las técnicas son importantes y el interés que conllevan, sin ser totalmente nuevo, renueva con frecuencia las perspectivas generales. La arqueología es entonces no sólo una simple ciencia auxiliar de la historia, sino uno de sus elementos o motores esenciales. Se sabe desde hace mucho tiempo que el uso o el desconocimiento de la rueda crea una ruptura más importante en el mundo, al inicio de la conquista de América, que los regímenes políticos o las religiones. Se habla, en la segunda Edad de Hierro en el mundo celta, de una revolución del hierro en la invención de procedimientos, mal conocidos aún, que permitieron la fabricación de una serie de objetos corrientes y armas: cambio técnico que se ha constatado acompaña a los cambios en la forma de hacer la guerra y a las transformaciones sociales unidas, junto con los *oppida*, a la aparición del fenómeno urbano.

Todo esto pone en evidencia un conjunto de fenómenos más importantes que la toma de Roma o Delfos por los Galos; su interpretación no es inmediata ya que varía según se tienda a hacer derivar los cambios sociales de los cambios técnicos o viceversa. Las recientes excavaciones del Éufrates Medio han evidenciado que, en una región privilegiada por la naturaleza, el fenómeno urbano aparece antes que la agricultura, mientras que se ha pensado frecuentemente que los condicionamientos técnicos serían el origen de la constitución de los primeros establecimientos sedentarios y de las reglas de organización social que ellos suponen o suscitan. Los aspectos más fecundos de la investigación arqueológica, desde el análisis de las necrópolis a un nuevo acercamiento a las imágenes más conocidas, como las de los vasos griegos, nos conducen al estudio de las sociedades. Lo que la arqueología busca desentrañar es el funcionamiento de las comunidades humanas, utilizando todos los datos posibles, desde los hallazgos «nobles» hasta aquéllos que no lo son.

En el mundo grecorromano aparece una oposición entre los arqueólogos tradicionales, acusados de no ser más historiadores del arte disfrazados y los que mantienen una arqueología más global y moderna a la vez. No hay por qué separar ambas direcciones. En ningún campo se muestra mejor que en el de la arquitectura o en el del urbanismo la importancia de los problemas técnicos y materiales, ya que no se puede tener en cuenta un solo aspecto: se le ha de pedir cuentas tanto a los fenómenos sociopolíticos presentes en la creación y evolución de una ciudad, como a las costumbres y creencias que refleja.

Estas nuevas ambiciones fundamentan el papel actual de la arqueología. No es suficiente decir, por ejemplo, que los principios del urbanismo racional, elaborados por la Carta de Atenas de 1924, están ya definidos y puestos en práctica en las creaciones urbanas del siglo V y IV a.C. Hay que añadir, para explicar la moda del pasado, que la aparente uniformidad del mundo moderno hace a los hombres del final del siglo XX cada vez más preocupados por su identidad cultural y sus raíces. La determinación de facies regionales de grandes civilizaciones, la importancia dada a los contactos, superposiciones y mezclas, la atención tanto por las zonas periféricas como por los grandes centros, todo aquello que introducimos bajo el término, un poco cómodo, de aculturización, define el mundo de la arqueología. Estas preocupaciones responden a las necesidades del mundo actual, donde los fenómenos de contactos entre culturas diferentes, más fáciles quizá de observar objetivamente en el pasado, tienen más importancia que aquellos que se viven hoy no siempre conscientemente. Ésta es la razón por la cual, por encima de necesarias mutaciones, la arqueología tiene un determinado porvenir. ■ *Roland Martin.*

BIOLOGIA MOLECULAR DE
LA CELULA

Bruce Alberts · Dennis Bray · Julian Lewis
Martin Raff · Keith Roberts · James D. Watson

Bruce Alberts, Dennis Bray, Julian Lewis, Martin Raff, Keith Roberts, James D. Watson
Biología molecular de la célula
Ediciones Omega S.A. Barcelona, 1986

El libro recientemente editado en castellano por la editorial OMEGA «Biología Molecular de la Célula», constituye un paradigma de la evolución de la biología molecular durante los últimos quince años. Durante este período, los avances en diferentes metodologías experimentales, en la tecnología instrumental, así como en los propios marcos conceptuales, han permitido ampliar el campo del análisis molecular desde el estudio de la organización y expresión de los genes y la estructura de las macromoléculas biológicas hasta el estudio de las funciones celulares y de los procesos multicelulares. Esta evolución en la temática de la biología molecular ha sido paralela a una transición gradual en los modelos experimentales objeto de estudio, comenzando por los bacteriófagos y las bacterias en el inicio de la biología molecular y siguiendo con las células eucarióticas y los sistemas celulares animales, existiendo en la actualidad una tendencia creciente al estudio de la biología molecular de las células vegetales. En este contexto, es interesante comparar el contenido de la «Biología Molecular de la célula» con el temario del conocido «Biología molecular del gen» para comprender los avances y las sucesivas fronteras del conocimiento en la biología molecular y celular.

El contenido del libro «Biología molecular de la célula» es muy amplio. La primera parte constituye una actualización de temas clásicos de bioquímica, la segunda incluye una excelente descripción molecular de las principales estructuras y funciones celulares y la tercera parte, titulada «de las células a los organismos pluricelulares», que, desde mi punto de vista es la más novedosa del libro, engloba unos capítulos excelentes sobre el sistema inmunitario y el sistema nervioso, entre otros.

Junto al interés del contenido del libro es preciso destacar la sistematización, claridad, nivel didáctico y rigor científico que los diferentes autores han empleado en sus capí-



tulos. El libro tiene, además, un abundante y cuidado material gráfico: esquemas, tablas, figuras en color y fotografías constituyen una gran ayuda para la lectura y hacen muy atractivo al libro. Cada capítulo dispone también de un conciso pero bien sistematizado resumen y de una escogida bibliografía.

Creo que hay que felicitar a la editorial OMEGA por haber tomado la decisión de publicar la presente versión en castellano. En primer lugar por su impacto y proyección científica y en segundo lugar por el grado de calidad en el texto, en el material gráfico y en la impresión, que lo sitúan en el mismo nivel que la versión original norteamericana.



La «Biología molecular de la célula» es un libro imprescindible en todas bibliotecas de Departamentos e Institutos del ámbito de la biología y es francamente recomendable para los estudiantes de carreras universitarias relacionadas con la biología (biológicas, medicina, farmacia, veterinaria, ingenieros agrónomos y montes, etc.) e incluso de estudiantes de química, puesto que pueden encontrar en el libro muchos motivos de reflexión ante un renovado renacimiento del interés científico por la interfase química-biología imprescindible para la comprensión de todo proceso biológico a nivel molecular. Es cierto que el precio del libro es elevado, pero la calidad de contenido y del continente hace rentable la inversión.

En conclusión, la edición en castellano de la «Biología molecular de la célula» constituye una importante novedad en el mercado de la literatura científica del ámbito hispano hablante, que por su planteamiento y rigor conservará su actualidad durante bastantes años a pesar del rápido progreso del conocimiento en prácticamente todos los campos que se incluyen en el libro. ■

Jesús Sebatián
Vicepresidente del CSIC.

Ronald E. Phillips, Shirley H. Phillips
Agricultura sin laboreo
Ediciones Bellaterra, 1986, 316 pp.

Verdad que la demanda alimentaria impone una presión creciente sobre las tierras arables del planeta; no es menos cierto que la necesaria intervención del hombre sobre el suelo cultivable conlleva por fuerza el desgaste del mismo, su esquilmación, alteraciones de todo orden en el ecosistema y verdaderas revoluciones en el equilibrio microcósmico. Y el hombre lo sabe, tanto como que a la postre ya no es la supervivencia, justificadora de sus acciones, lo que está en juego, sino la Naturaleza misma. Ésta, cada vez más maltrecha, se ve progresivamente comprometida. La buena tierra, la tierra bendita del Knut Hamsun y Pearl S. Buck ha hecho al fin sonar la alarma. Y ésta ha sido oída. A principios del pasado mes de octubre, por ejemplo, se celebró en Madrid el primer simposio sobre *Mínimo laboreo en cultivos herbáceos,* auspiciado por el departamento de Fitotecnia I de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y por la compañía norteamericana Monsanto. ¡Hay que poner fin a la creciente compactación y erosión del suelo! fue la conclusión unánime.

La obra que nos ocupa trata precisamente de esto, y de muchas cosas más. La batalla se ha generalizado y hay que luchar en todos los frentes, dicen los autores. ¿Sabía el lector que simplemente para preparar la tierra con fines de cultivo extensivo en hileras, los agricultores norteamericanos, por ejemplo, mueven anualmente el equivalente de suelo necesario para construir una superautopista a través del continente? ¿Podemos imaginarnos las pérdidas por erosión que entraña semejante manipulación del suelo? La siembra directa en la rastrojera hace innecesarias esas labores de preparación. Pero la erosión puede provenir también del agua. Toda práctica que pueda reducir el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo, que reduzca el caudal de agua circulante o que aumente la resistencia del suelo a la erosión que produce el movimiento de las partículas de aquél, como una mejora de la estructura propia del mismo, disminuirá las pérdidas erosivas. Y otro tanto cabe decir de las de origen eólico. Una cobertura residual, que permita la siembra directa, cumple esa función protectora. Y héte aquí que, además, propicia la conservación de la humedad del suelo, aumentando la infiltración hídrica y reduciendo la evaporación. Naturalmente, todas esas ventajas tienen un precio. Es evidente que la necesaria deposición de abonos en superficie no surte iguales efectos que su incorporación en la textura edafológica interna por medio de la reja o del disco. Y a ello, claro está, atienden los autores en su debido momento, sea en relación con las necesidades respectivas de nitrógeno con laboreo nulo o convencional, a la distribución del potasio y a su disponibilidad, al azufre, al fósforo, a la cal y a la acidez del suelo, a los micronutrientes, etc., señalando a su vez claramente la necesidad de que los productores que adopten esa nueva técnica habrán de hacerlo sobre principios sólidos en cuanto a profundidad de siembra, contacto semilla/suelo y cobertura de la primera en ausencia de la pulverizada capa del segundo que suministra el propio laboreo.

Se trata, pues, de un acercamiento exhaustivo a una técnica de producción agrícola de



corta historia, digamos que inició sus primeros tientos hará unos 20-30 años, y que hoy se ha revelado plenamente capaz de aportar sustanciales economías energéticas, de contribuir notablemente al control de la erosión del suelo, a la flexibilidad en la plantación y recolección, al aumento del uso de las tierras en las llamadas zonas marginales inaccesibles al laboreo convencional, a la reducción de la mano de obra, a la mejora de la retención de agua, disminución de la evaporación y de otras relaciones cultivo/suelo, todo lo cual puede inscribirse en el marco de una explotación racional y poco agresiva de nuestros recursos o, como señalara José María Mateo Box, director del simposio mencionado al principio del esta reseña, constituye la alternativa llamada *laboreo de conservación,* al que calificó de «agricultura para el futuro.»

La obra presenta casi un centenar de tablas, unas cincuenta figuras y una sin fin de referencias bibliográficas para mayor abundamiento. Que las más de las investigaciones que la sustentan y explican procedan de Estados Unidos no invalidan la importancia del tema y su tratamiento, pero nos hacen añorar la presencia de obras que, centradas concretamente en nuestros pagos, los aborden con igual seriedad y detalle. ■

Barbara Wickers.

Blas Cabrera
Principio de relatividad
Barcelona. Editorial Alta Fulla y «Mundo Científico»
343 pp.

La editorial Alta Fulla, en colaboración con la revista *Mundo Científico,* ha iniciado la publicación de la colección «Noctulabium» –otros consideran que debería decirse «Nocturlabium»–, que corresponde al nombre del instrumento utilizado por los astrónomos medievales para determinar la altura de las estrellas y del que se valió Ramón Llull (c.1235-1315), según consta en

su *Opera Omnia*, para saber la hora durante la noche y administrar puntualmente los medicamentos a sus enfermos. Aunque lo de menos puede ser el instrumento mismo y lo que más haya atraído a los promotores de la colección sea la propia palabra, que viene a significar «labio de la noche» o «borde de la noche» –otra acepción es «coger la estrella»– dándole, en cualquier caso, un aire onírico y expectante a esta nueva empresa. Se trata de reeditar, en facsímil, obras que hayan tenido alguna significación por su contenido, en el momento de su publicación, y que, incluso todavía puedan tenerla, si no por el contenido, en todos los casos, sí por su valor histórico. El grabado que identifica la colección muestra el empleo del nocturlabio tomado del *Libro de Cosmographia* de Apiano (1501-1551), astrónomo alemán protegido por Carlos V.

De los libros publicados hasta ahora –*Viaje a la América Meridional por el río de las Amazonas*, La Condamine; *Principio de Relatividad*, Blas Cabrera; *Filosofía zoológica*, Lamarck; *El espiritismo ante la Ciencia*, J. Comas Solá– voy a ocuparme del segundo, una obra oportuna y actual, en 1923, cuando se publicó por primera vez y que todavía lo es.



Einstein posando junto a catedráticos de la Facultad de Ciencias durante su visita a Madrid en marzo de 1923. De izquierda a derecha, sentados: M. Vegas, J. Rodríguez Carracido, A. Einstein, L. Octavio de Toledo y B. Cabrera; de pie: E. Lozano Rey, J.M. Plans, M. Moreno, E. Lozano Ponce de León, I. González Martí, J. Palacios, A. del Campo y H. Castro.



Entonces fue editada por la Residencia de Estudiantes, que prestó un destacado servicio a la difusión cultural en la España del primer tercio de este siglo, como bien dice José Manuel Sánchez Ron en la presentación, precisa y bien articulada, que contiene datos sobre la vida académica y formación científica de Cabrera, así como algunos aspectos destacables de la recepción en España de las Teorías de Einstein. Se ha añadido a la edición original una fotografía que la completa. Fue hecha en el mismo año 1923, que también es el de la visita de Einstein a España, en el patio de la Facultad de Ciencias de la Universidad Central, en la calle San Bernardo. En ella posaron con el visitante los catedráticos de aquella Facultad, entre los que está Blas Cabrera.

No es necesario recurrir a estadísticas para admitir que la bibliografía sobre las Teorías de la Relatividad, restringida y generalizada, y sobre su autor, es la más copiosa de la literatura científica del siglo XX. Y desde luego la teoría científica más difundida en nuestro idioma. Tampoco habrá que insistir demasiado en que una razón determinante de este hecho pueda ser la popularidad y fotogenia de Albert Einstein, imagen –casi efigie– que igual preside congresos científicos de cualquier rango, que «vende» temarios de oposiciones administrativas, instrumentos musicales, ordenadores o flan Potax.

Ahora bien, tampoco son precisos muchos sondeos para afirmar que poca gente está auténticamente instruida en tales teorías. Una cosa es dejarse arrastrar por el tirón einsteniano y otra echarle horas a sus famosas y, sin duda, revolucionarias, ideas. Hay que decir, para descargo de nuestras conciencias, que este fenómeno no es particularmente español, si bien pueda verse acrecentado por el devocionismo a que somos propensos, en todos los órdenes. El propio Einstein, en el acto de su nombramiento como Académico correspondiente de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid, tras escuchar las palabras de salutación de Cabrera, recordó la conocida frase «queremos recibir menos alabanzas y, en cambio, que se nos lea con atención». Lo decía satisfecho de haber encontrado en Cabrera un interesado lector y difusor de sus teorías y no un retórico del elogio, de los que debería estar bastante escaldado a juzgar por sus palabras.

También hay que decir que no son las teorías de Einstein pan comido para quienes carezcan de formación matemática suficiente y de flexibilidad mental hecha a los modos filosóficos. No sólo fueron las noticias de la prensa, durante su estancia en España, las que se hacían cargo de lo intrincado del asunto después de sus conferencias, por otra parte, masivamente concurridas; en la misma Academia de Ciencias hay constancia del hecho y quizá también en la concesión del Premio Nobel en 1921, no por las teorías relativistas, sino por el efecto fotoeléctrico. En 1924 ingresa José María Plans, Catedrático de Mecánica celeste de la Central y pronuncia el discurso *Algunas consideraciones sobre los espacios de Weyl y de Eddington y los últimos trabajos de Einstein*, contestado por el Catedrático de Análisis matemático, también de la Central, Luis Octavio de Toledo, quien, después de elogiar «el canto entusiasta a las teorías relativistas» del recipiendario, dice: «Pero ha de permitirse mi buen amigo y compañero que yo no sienta esos mismos entusiasmos: es cuestión de edad, de educación científica y tal vez, de temperamento también. Educado en la Mecánica newtoniana, al ver romper sus bases y fundamentos y sustituirlos por otras concepciones me produce alguna sorpresa, y mi ánimo duda y vacila antes de admitir los nuevos principios». Años antes, en 1910, Echegaray que entre otras cosas era Catedrático de Física Matemática, contestando al discurso *El éter y sus relaciones con la materia en reposo*, con que ingresó Cabrera en la Academia, tema afín a la Relatividad y muestra de las preocupaciones de Cabrera por la Física Teórica, se escabulle del tema con la gracia que debió caracterizarlo. Dice: «Invitar a personas tan respetables, y aún invitar a bellas damas, para ofrecerles **toda una sesión** en un lenguaje ultra-cabalístico, me parece exceso de crueldad científica».

Pues bien, el libro de Cabrera cuyo título completo es *Principio de relatividad, sus fundamentos experimentales y filosóficos y su evolución histórica*, pretende mostrar «que no existe nada en las Ciencias positivas que esté en oposición con el principio de relatividad, tanto en su forma restringida como en la general; y bastante que obliga a convertirle en postulado necesario de la Filosofía natural».

Yo lo leí hace tiempo, afectado como todos por el tirón einsteniano, y con la fruición de haberlo encontrado en una librería de lance. He vuelto a leerlo ahora, más sereno, y desde la posición de profesor de Didáctica de las Ciencias Experimentales en una Escuela Normal, especialmente interesado por la enseñanza de la Física para maestros. Y al valor divulgativo, complejo en algunos puntos, sobrepongo ahora su valor pedagógico que no contradice al autor cuando advierte que «conviene a esta finalidad 'la citada más arriba' un modo de exposición que no es el de un libro didáctico, pues he tenido que sacrificar el detalle del razonamiento a la rápida visión de las dificultades de la Ciencia clásica y su fácil eliminación

por las nuevas ideas». Pues es esta visión general y comparada, donde no se aspira a averiguar el cómo y el porqué de las múltiples fórmulas empleadas en el texto, porque son, en definitiva, «la fuente más copiosa de las dificultades con que la nueva Ciencia ha venido luchando», la que hace útil el libro para profesores de Física de los niveles medios y de primer ciclo universitario.

Está estructurado según los siguientes capítulos: I. La relatividad en la Mecánica de Newton. II. Los postulados de la Mecánica clásica en la Física; III. Principio restringido de relatividad; IV. Las nociones de espacio y tiempo y el universo de Minkowski; V. La gravitación en la ciencia clásica. Postulados de igualdad de las masas inerte y gravitatoria; VI. Teoría de la gravitación de Einstein; VII. El Universo, la materia y la electricidad; Nota I. Magnitudes escalares, vectoriales y tensores; Nota II. Curvatura de líneas superficies y el Universo. El estilo es directo y es un lenguaje casi coloquial, propio de las conferencias que le dieron origen. No obstante, el carácter tensorial de la relatividad general ahí está, bien arropado por explicaciones teóricas suficientes para evitarlo, si es preciso, en una primera aproximación a los aspectos cualitativos. La Bibliografía repartida en «Obras filosóficas y de divulgación», «Relatividad restringida» y «Relatividad generalizada», es una evocadora relación de títulos y autores ya clásicos en los estudios relativistas. ■

Antonio Moreno.

J. et D.Kotek,
L'affaire Lyssenko,
238 p., Editions Complexe, diff. PUF

El caso Lyssenko fue algo espantoso. En nuestros días, muchos estudiantes de biología solamente saben de forma vaga que, hacia 1935, un autodidacta soviético, Lyssenko, consiguió en pocos años imponer a la biología de su país una manera muy particular de pensar (?) las ciencias de lo vivo; y que esto ahogó por mucho tiempo todo progreso del conocimiento y de la práctica en este campo en Unión soviética. Lyssenko no estaba solo: tenía unos acólitos como Williams, Prezent y... el poder estaliniano; tenía adversarios entre los que Vavilov es el más conocido. Sus fechorías no quedaron aisladas en Unión soviética: 1948 es el año en que el lissenkismo se convierte en una máquina de guerra contra los intelectuales occidentales, biólogos o no, miembros del PC.

Nuestros autores hablan del funcionamiento de esta «máquina de quitar los sesos» y por cierto muy bien. El caso Lyssenko en Occidente es mucho más su problema que lo que precedió: la aparición del lyssenkismo en 1935. Suponiendo, por otra parte, que se pueda considerar como una verdadera doctrina esta amalgama de pensamientos incoherentes fecundada por una práctica de la relación en el poder bastante notable por cierto... Está en primer lugar la huida de los dirigentes de la Unión soviética ante el hundimiento de la agricultura hacia 1930: el hambre había llegado tras la deskulakización y la colectivización forzada. Hacía falta un hombre providencial. Fue Lyssenko. El desastre que siguió rápidamente a la aplicación de sus métodos no detuvo a los dirigentes, por lo que el caso de Lyssenko tomó una dimensión mucho más política y se organizó después en el curso de los procesos de Moscú, aunque las modalidades fueron un poco diferentes. Lyssenko era ineficaz y perjudicial: pero se había vuelto esencial en el proyecto de Stalin concerniente a los intelectuales. La fecha de 1948 marca la destrucción del pensamiento genético clásico. Es también, tras el Congreso de la Academia de las ciencias de la agricultura en Moscú y del Congreso de la Paz en Wroclaw, la llegada de los lissenkistas a los partidos comunistas belga, francés e inglés.

Mientras que la biología moderna había sido hasta entonces vivamente alentada por los PC, se conmina súbitamente a científicos como Teissier, Prenant, Haldane, Monod, Brachet y muchos otros, a renunciar a su libertad de pensamiento y a adoptar una línea teórica totalmente contraria a sus convicciones profundas. Todo esto conmueve vivamente este pequeño mundo y las turbulencias duran algunos años. La descripción de esta parte del caso Lyssenko ocupa la mayor parte de la obra, y sólo por esto, hay que comprarla y leerla. El resultado es que el partido perdió a sus biólogos y una primera generación de intelectuales. Incidentemente, se puede destacar que los científicos resistieron mucho mejor este dominio sobre su pensamiento que los literatos.

Esta obra totalmente interesante y bien escrita viene a completar, en lo que concierne al Occidente, el soberbio texto de J.Mevdedev *(Grandeur et chute de Lyssenko,* Gallimard, 1970) y permite situar en su contexto político las biografías de algunos de los protagonistas de este siniestro caso. Lamento enormemente que la «biología» de Lyssenko o de Williams no sea más analizada o discutida: aunque su gestión fuera incoherente y sus resultados inexistentes, los fantasmas subyacentes no tienen motivo alguno para no continuar operando. Pero ello no debe impedir a nadie romper su lucha y comprar ese libro: no es caro y les hará pensar mucho. ■

Gabriel Gachelin.

B. Prum,
Processus sur un réseau et mesure de Gibbs,
200 p., Masson

He aquí un buen libro de síntesis que se dirige a los estudiantes de 3.er ciclo y a los investigadores. Presenta un amplio panorama de los más recientes desarrollos de la teoría de los procesos sobre redes. En el curso de un camino muy progresivo, B.Prum nos conduce desde los resultados más simples concernientes al «muy conocido» modelo de Ising hasta las técnicas más avanzadas que permiten mostrar la existencia de transiciones de fases (teorema de Pigorov y Sinai para los iniciados).

Algunas observaciones oportunas, de paso, relacionan las nociones matemáticas utilizadas con sus homólogos (y homónimos) en física. Un interesante capítulo de aplicaciones estadísticas «último grito» concluye esta obra: estimación para los parámetros de un modelo y utilización de los campos markovianos para el tratamiento de imágenes. ■

S. Cacaly
Banques de donnés et sciences de l'Antiquité,
140 p., DBMIST/Ministère de la Recherche et de l'Enseignement supérieur

En marzo de 1984 tuvo lugar un coloquio que reunía a todos los responsables franceses de bancos de datos dedicados a la Antigüedad. La primera característica de estas bases es su gran diversidad: una de ellas son bibliográficas, las otras contienen datos de excavaciones, de las colecciones de recipientes o de mosaicos, incluso de los textos antiguos y de los emplazamientos arqueológicos. A esta diversidad de contenido se añade la de su utilización y de su acceso, la mayoría todavía en estado experimental. También la publicación de la Dirección de las bibliotecas de las comunicaciones del coloquio y sobre todo del inventario completo de esas bases de datos es particularmente bien recibida. Investigadores y profesores que trabajan sobre la Antigüedad, concebida en su más amplia acepción («De la prehistoria a Bizancio») encontrarán todas las informaciones sobre el contenido de cada base, su modo de funcionamiento y la forma de acceder a ellas. ■

J.Hamburger
La philosophie des sciences aujourd'hui,
188 p., Gauthier-Villars.

El título de esta colección puede dar una idea inexacta de su contenido. No se trata de una obra general destinada a presentar de forma sistemática todas las grandes corrientes y todos los grandes debates de la filosofía de las ciencias, sino de un conjunto de conferencias pronunciadas hace poco ante la Academia de las ciencias. Así Pierre Jacob trata de la «filosofía analítica»; Daniel Andler, de las «ciencias de la cognición»; y Gilles Granger aboga «por una epistemología del trabajo científico». Estos temas son todos interesantes y dan a los autores la ocasión de instruirse sobre algunas investigaciones no siempre bien conocidas en Francia. Pero dos exposiciones, por su tono polémico, retendrán particularmente la atención. René Thom, en efecto, se dedica a una crítica del «mito» del método experimental que se termina así: *«En nuestra época hay que salvar ante todo al pensamiento de la arrogante autoridad de la experimentación».* Anatole Abragam responde de forma bastante virulenta, juzgando algunas ideas de Thom «peligrosas para la ciencia de nuestro país» y lamentando que este matemático desprecie de forma injustificada a los experimentadores. Siguió una discusión, completada en esta obra por varias cartas de Paul Germain, Jean Hamburger, René Thom, etc. También es presentado un artículo de Antoine Danchin sobre «Expérience et méthode», publicado en *Le débat* en 1985. Este libro, a pesar de algunas páginas algo difíciles, es abordable por un amplio público no solamente de científicos sino también de no científicos. Demuestra un esfuerzo de la Academia de las ciencias para acercar a los epistemólogos y a los «científicos». ■

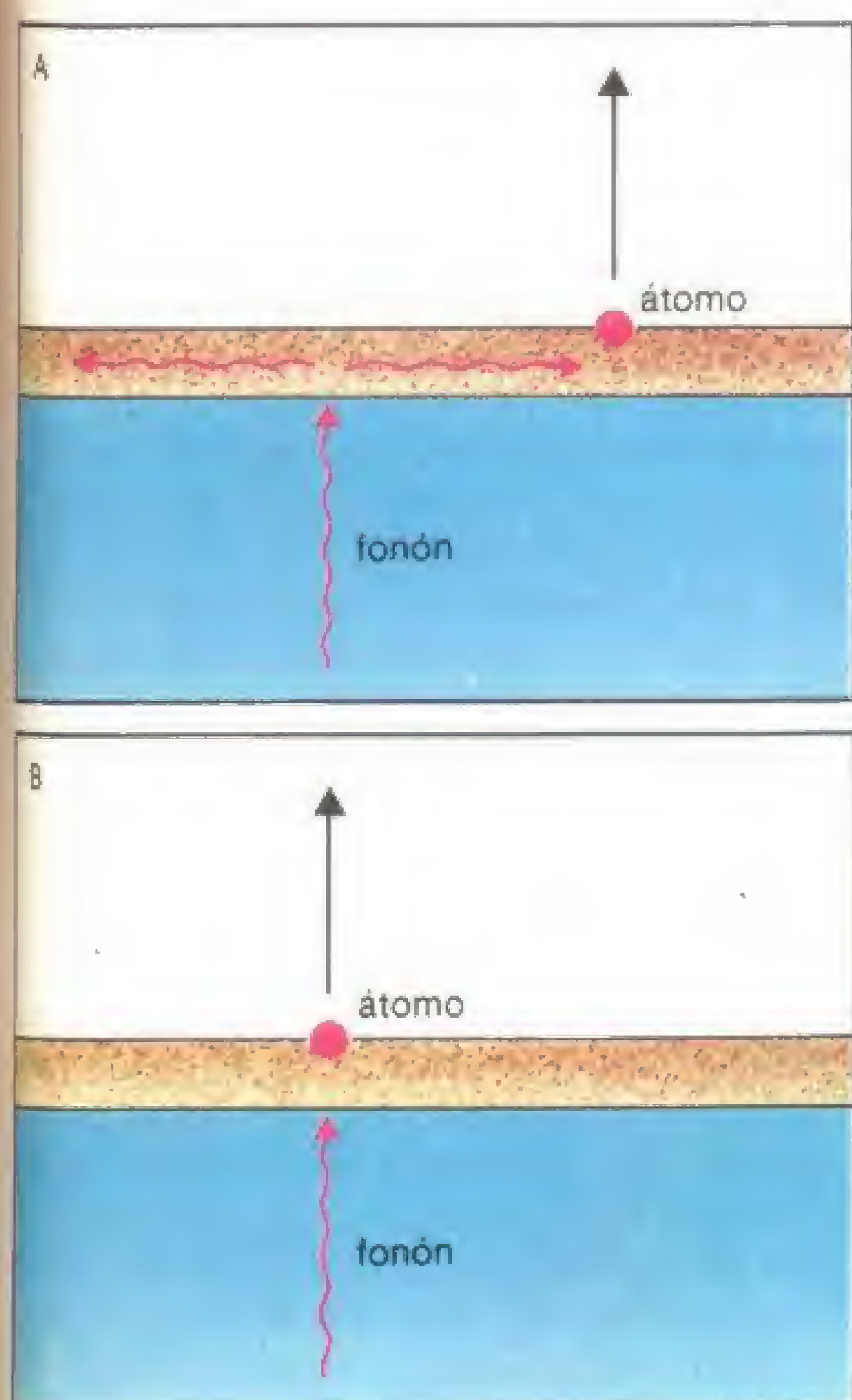
El efecto fonoatómico

por David L. Goodstein

¿Cómo se evapora un líquido? ¿Cómo se desadsorbe un gas absorbido en una pared fría cuando ésta es calentada? El modo preciso en que tienen lugar estos cambios de estado sigue siendo un problema difícil para los físicos. Pero se acaba de realizar un progreso importante en este campo con el descubrimiento del efecto fonoatómico, especie de proceso de desadsorción cuántica elemental. David L. Goodstein y sus colaboradores del Instituto Tecnológico de California han demostrado que los átomos adsorbidos en una superficie sólida podían ser eyectados por cuantos de energía sonora o térmica, los «fonones». Este efecto ha recibido el nombre de fonoatómico por referencia al célebre efecto fotoeléctrico en el que unos cuantos de luz los fotones, eyectan los electrones de un metal. De hecho, existe una profunda analogía entre los dos fenómenos, como subraya David Goodstein, quien nos presenta aquí las razones y sus resultados, la naturaleza y las implicaciones de sus trabajos sobre la desadsorción de los gases.



Figura 1. En una notable serie de experimentos, David Goodstein y sus colaboradores del Instituto Tecnológico de California han estudiado detalladamente los fenómenos de desadsorción de los gases. Han demostrado en particular que los átomos adsorbidos («pegados») en la superficie de un sólido pueden ser eyectados en un proceso cuántico sencillo: el efecto fonoatómico. Los fonones son cuantos de energía sonora o térmica que se propagan por el interior de los cristales. Cuando alcanzan la superficie de un cristal, pueden ser absorbidos por procesos complicados, y originar, por ejemplo, ondas de superficie. Un átomo previamente adsorbido en esta superficie puede recoger entonces suficiente energía para ser finalmente eyectado. Estos fenómenos se agrupan colectivamente bajo el nombre general de «desadsorción térmica» (A). En el efecto fonoatómico, en cambio, los fonones intervienen uno a uno. Toda la energía de cada uno es enteramente comunicada a un sólo átomo, que se desadsorbe instantáneamente (B). El descubrimiento del efecto fonoatómico ha sido posible gracias a los recientes progresos de la ciencia de los materiales y al desarrollo de la física de los semiconductores y de sus aplicaciones. Actualmente se puede disponer, en efecto, de muestras cristalinas muy puras y de gran tamaño. Los experimentos descritos en este artículo utilizan un cristal de zafiro normalmente de seis centímetros de diámetro y un centímetro de grosor (E). En las superficies del cristal se montan un emisor de calor y detectores (bolómetros). Estos dispositivos son demasiado pequeños para poder ser vistos a simple vista (para ello es necesario un excelente microscopio); pero se perciben las fijaciones de indio que los ponen en contacto eléctrico con los aparatos de medida. El conjunto está en una célula montada sobre un soporte (D). Este último es introducido aquí por Roya Maboudian y David Goodstein (C) en un criostato en el interior del cual el helio líquido enfriará la célula hasta una temperatura de dos Kelvin. (Fotos. CALTECH/B. Paz.)



No hay ninguna necesidad de ser un científico para haber observado agua en ebullición en una cazuela o un cubito de hielo fundiéndose en un vaso de agua. Sin embargo, se trata de cosas a la vez sencillas y embarazosas, para las que no se tiene todavía una explicación científica satisfactoria. Evidentemente, es mucho lo que se sabe sobre la fusión o la evaporación; pero el modo exacto en que se desarrollan estas transiciones es imposible de explicar completamente a partir de los principios fundamentales de la física, es decir, a partir de las interacciones microscópicas que, hoy día, se describen siempre en términos cuánticos. Esto resulta muy irritante para los físicos, ya que el remontarse a los principios básicos es el camino que siempre intentan seguir para progresar. Sin embargo, se acaba de dar un paso en este sentido gracias al descubrimiento y posterior análisis del *efecto fonoatómico.* ¿De qué se trata?

Cualquier sólido en contacto con un gas atrae a las moléculas de éste. Las fuerzas responsables de esta atracción son a menudo del tipo Van der Waals, es decir, debidas a efectos de polarización eléctrica recíproca entre átomos próximos. A baja temperatura los átomos del gas se condensan pues sobre la superficie sólida: se dice que se «adsorben». Inversamente, si se calienta el sólido, los átomos abandonan la superficie, es decir, se «desadsorben». Se trata de un cambio de estado del sistema constituido por el gas y la superficie sólida. Este cambio de estado, también llamado transición de fase, es parecido al fenómeno de condensación o de evaporación de un líquido.

En mi equipo de investigación, en el Instituto Tecnológico de California, hemos demostrado que la desadsorción de un átomo pegado a la superficie de un cristal podía reducirse a un acontecimiento cuántico sencillo llamado *efecto fonoatómico* (fig. 1). Poco después, este proceso fue detectado en la evaporación de un átomo de la superficie de un líquido especial, el helio líquido próximo al cero absoluto de temperatura. En el caso de átomos que se separan de una superficie cristalina se habla de *efecto fonoatómico* por referencia a un efecto análogo más conocido y descubierto a principios del siglo, el *efecto fotoeléctrico.* Antes de examinar en detalle en qué consiste el efecto fonoatómico es por tanto esencial, recordar en qué consiste el efecto fotoeléctrico. Al remontarnos así a los orígenes de la mecánica cuántica, podremos reencontrar el significado de algunos conceptos fundamentales ampliamente utilizados actualmente para describir las partículas, su energía, el calor, etc. Dispondremos entonces de las herramientas necesarias para comprender cómo, durante tres o cuatro experimentos sucesivos, hemos demostrado que la desadsorción de un átomo pegado a una superficie puede tener lugar de una forma cuántica sencilla y también por qué el descubrimiento del efecto fonoatómico, aunque importante, no explica todavía todo lo que sucede durante estas transiciones de fase especiales que son la desadsorción o la evaporación.

En 1905 Albert Einstein escribió el artículo en el que proponía una explica-

David L. Goodstein es un especialista en física de las superficies y profesor en el Instituto Tecnológico de California.

ción del efecto fotoeléctrico. Mientras trabajaba como ingeniero en la Oficina de Patentes de Berna había redactado su tesis doctoral sobre el movimiento browniano, un análisis que contribuiría a establecer la existencia de los átomos. El mismo año presentó nuestras ideas sobre el espacio y el tiempo. Sin embargo, cuando recibió el premio Nobel en 1923 fue por su teoría del efecto fotoeléctrico.

El efecto fotoeléctrico interviene cuando se ilumina un metal: penetra en él energía en forma de cuantos de luz llamados fotones y eyectaelectrones. Ahora bien, el objeto de nuestras recientes investigaciones, en el laboratorio, es un fenómeno totalmente parecido: cuantos de energía sonora, llamados fonones, eyectan átomos ligados a la superficie de un cristal. De ahí la denominación análoga de efecto fonoatómico. Aunque actualmente los científicos ya no tienen ningún problema para discutir las interacciones entre electrones, fotones, fonones y átomos, es conveniente –tanto para la física como para su historia– volver al descubrimiento de la existencia de cada uno de estos objetos.

Ya en 1896, el físico inglés J.J. Thomson había logrado demostrar que los rayos catódicos estaban constituidos por partículas cargadas. Simple curiosidad científica durante mucho tiempo, el tubo catódico originaría productos tan corrientes como las pantallas de televisión o de ordenadores. En aquella época, pese a que la misma existencia de los átomos siempre era objeto de algunas controversias, los trabajos de Thomson demostraron que todos los átomos tenían los mismos constituyentes internos. El problema ya no era entonces saber si los átomos existían, sino de qué estaban hechos. Thomson llamó a sus partículas cargadas *corpúsculos*, pero iban a ser universalmente conocidos con el nombre de *electrones*.

La resolución del problema de la estructura de los átomos iba a requerir luego toda la artillería de la mecánica cuántica. La comprensión de los efectos fotoeléctrico y fonoatómico también. Pero la misma forma en que Thomson hizo su descubrimiento tiene, también, una relación sorprendente con el efecto fonoatómico. Los rayos catódicos son chorros de electrones, pero numerosos científicos no habían podido probarlo, pues los rayos se negaban obstinadamente a responder, tal como habrían debido, a la acción de campos eléctricos. Esto se debía a la mala calidad del vacío existente en los tubos catódicos utilizados, que eran de vidrio sellado. El chorro de electrones ionizaba los gases residuales que apantallaban los campos aplicados para desviarlo. Donde otros habían fracasado, Thomson triunfó al comprender que podía mejorar el vacío calentando sus tubos en un horno, durante el bombeo y antes de que el vidriero los sellase. De este modo eran expulsados los átomos o las moléculas adsorbidas por las paredes, por efecto del calor, en lugar de adsorberse después, lo que deterioraba el vacío. Y el efecto fonoatómico es precisamente un efecto cuántico sencillo, en el que se basan los procesos de desadsorción de un gas adsorbido en una superficie. De modo que quizá Thomson fue, sin saberlo, uno de los primeros en sacar provecho del efecto fonoatómico.

Un artificio de cálculo se convierte en una constante física fundamental

Unos treinta años después del descubrimiento de Thomson, la mecánica cuántica iba a triunfar explicando la estructura de los átomos. Pero sus primeros pasos fueron dados en otro campo, por el físico alemán Max Planck, mientras investigaba una fórmula matemática que describiese la radiación emitida por un cuerpo caliente. Todos los cuerpos emiten continuamente una radiación electromagnética, que incluye entre otras a las ondas de radio y a la luz visible. Si el cuerpo está bastante caliente, un filamento de una lámpara de incandescencia, por ejemplo, es capaz de emitir suficiente luz visible para iluminar una habitación, pero incluso los cuerpos más fríos emiten al menos un poco de radiación de todas las frecuencias. Los colores corresponden simplemente a algunas frecuencias en una banda estrecha de sensibilidad del ojo.

Hacia 1900, la teoría de la interacción radiación-materia estaba ya muy avanzada y predecía que a cualquier temperatura los cuerpos tenían que radiar un poco a baja frecuencia, y cada vez más hacia las altas frecuencias, sin ningún límite. Por supuesto, estos cuerpos tenían que adsorber al mismo tiempo, radiación de todas las frecuencias, pero este intercambio infinito a muy alta frecuencia era sin duda algo inquietante en la época. Se le había llamado catástrofe del ultravioleta. La situación se había hecho realmente alarmante cuando Wilhelm Wien, en los años 1890, había efectuado cuidadosas medidas demostrando que, en realidad, el fenómeno no tenía lugar. Al contrario, hallaba que la intensidad de la radiación intercambiada aumentaba hasta cierta frecuencia, que dependía de la temperatura del cuerpo, para descender luego rápidamente a cero a más alta frecuencia (fig. 2).

Ésta era la situación cuando Max Planck emprendió el análisis. Algo parecía impedir que los cuerpos radiasen a alta frecuencia. ¿Se debía a que la radiación de alta frecuencia costaba más energía, para una intensidad dada, que la radiación de baja frecuencia? Mientras buscaba simplemente una fórmula adecuada, Planck pensó que la energía podría existir en unidades discretas proporcionales a la frecuencia. Escribió entonces su célebre ecuación $E = h\nu$, que significaba que la energía de cada «cuanto» tenía que ser proporcional a la frecuencia ν. En cuanto a la constante de proporcionalidad h, le había parecido razonable hacerla tender a cero durante los cálculos. Pero cuando obtuvo la fórmula que deseaba, comprendió que no había nada que tocar. En lugar de desaparecer, la constante se hizo universalmente conocida con el nombre de constante de Planck.

La ecuación de Planck implicaba, por tanto, que la luz, o cualquier otra radiación electromagnética, llegaba a oleadas, a «cuantos» de energía, a través de lo que actualmente se llaman fotones. Un siglo después de que Thomas Young hubiese demostrado que la luz era una onda, y una generación después del triunfo de la teoría de James Clerk Maxwell que probaba que se trataba de una onda electromagnética, la física parecía volver al nivel de la vieja teoría corpuscular de Isaac Newton. Pero en realidad, la teoría de Planck no exigía realmente que la luz existiese en forma de cuantos. En efecto, el comportamiento extraño que Planck describía en su ecuación habría podido ser una propiedad de la materia y no de la radiación.

Einstein y el efecto fotoeléctrico

Fue Albert Einstein, en 1905, quien se atrevió a dar el salto al proponer que el propio campo electromagnético que constituye la luz estaba hecho de cuantos. Aquí llegamos al núcleo del efecto fotoeléctrico. Cuando un metal recibe luz, los electrones de su interior pueden adsorber cuantos de radiación y ser eyectados. Si un electrón está ligado a un metal por una energía de enlace W y si adsorbe un fotón cuya frecuencia ν es tal que $h\nu$ es mayor que W, este electrón no sólo puede ser eyectado sino que sale con un exceso de energía sencillamente igual a la diferencia $(h\nu - W)$. Ésta es la predicción, sorprendente en su época, que hizo Einstein del efecto fotoeléctrico. ¿Por qué sorprendente? ¡Porque predecía que la energía de cada electrón eyectado no dependía de la intensidad de la luz incidente sino de su color! Y sus predicciones fueron confirmadas en una serie de célebres experimentos realizados por Robert A. Millikan en 1915-1916 (fig. 3).

Millikan, como Einstein, acabó recibiendo el premio Nobel, en parte, por su trabajo sobre el efecto fotoeléctrico. Todos los metales son susceptibles de presentar este efecto, pero en algunos, como el cadmio o el cinc, los electrones tienen una energía de enlace más pequeña que en otros y, por tanto, pueden ser extraídos más fácilmente. Se utilizan en la fabricación de las células fotoeléctricas para los sistemas automáticos de los



Figura 2. Cualquiera que sea su temperatura, todo cuerpo emite (o absorbe) continuamente radiación electromagnética. La intensidad de esta radiación aumenta en función de la frecuencia, alcanza un valor máximo que depende de la temperatura y luego desciende rápidamente hacia cero. Al suponer que esta energía era emitida en cuantos (los fotones) cuya energía es proporcional a la frecuencia, Max Planck fue capaz, en 1900, de hallar una fórmula que describe este fenómeno. En el efecto fonoatómico se utiliza la misma curva y la misma fórmula para describir la radiación de fonones (cuantos de sonido o de calor) emitidos en un cristal por una película calefactora. (Foto. B. Laval, AAA photo.)

ascensores. En suma, al principio del siglo veinte se impuso una notable tendencia a descubrir que los fenómenos que se creían indefinidamente divisibles estaban en realidad constituidos por unidades discretas irreductibles. La antigua idea de que la materia estaba constituida por átomos quedó establecida de forma indiscutible. Se descubrió también que la electricidad está hecha de electrones (más adelante se descubriría el papel de los protones en las cargas positivas) e incluso que la luz llega en forma de fotones. Pero faltaba un descubrimiento: el de la cuantificación del sonido, concepto fundamental para la comprensión del efecto fonoatómico. Y una vez más nació en la fértil imaginación de Einstein.

Los fonones, cuantos de energía sonora

En 1907 Einstein propuso cuantificar las vibraciones de los átomos en los sólidos cristalinos de la misma manera que las ondas electromagnéticas. Al igual que Planck buscaba una razón para disminuir la energía de la radiación de alta frecuencia, Einstein intentaba explicar por qué la energía de vibración de los átomos en los sólidos era menor que la prevista. Se dio cuenta de que en los dos casos se aplicaba la misma ecuación. La energía E de los cuantos de vibración podía escribirse $E = h\nu$ en función de la frecuencia ν. Poco después, Petrus Debye señalaba que los átomos no vibran individualmente sino colectivamente, en forma de ondas. Y de hecho, es exactamente así como los sólidos transmiten el sonido. Se comprendió que las ondas mecánicas se propagan en los sólidos en forma cuantificada, como las ondas electromagnéticas. La cantidad elemental de vibración mecánica, es decir el cuanto de sonido, fue lógicamente denominado «fonón».

A continuación, la física de los sólidos conoció éxitos resonantes gracias a la constante utilización de los conceptos de la mecánica cuántica. Hoy el estudio de los fonones es una de las líneas principales de la investigación científica. Nos falta decir algunas palabras para comprender mejor el efecto fonoatómico. Un fonón es, pues, un cuanto de sonido. Veremos que también puede ser considerado un cuanto de calor. No está limitado al intervalo audible, del mismo modo que el fotón no lo está al visible. Se oye hasta 15.000 hertzs, al menos cuando se es joven; pero las frecuencias de los fonones pueden llegar hasta 10^{12} hertz. De ahí las propiedades fundamentales de los sólidos.

Todos los sólidos están constituidos por un número enorme de átomos o de moléculas, conjuntos estrechamente unidos por potentes fuerzas eléctricas, dispuestos regularmente en un retículo, pero constantemente agitados por movimientos aleatorios debidos al calor almacenado en el material. A primera vista, cualquier intento de comprensión de un sistema tan complicado podría parecer desesperado. Pero si la física de los sólidos es una de las ramas del saber que ha experimentado los mayores éxitos, se debe en parte a que el movimiento infinitamente complejo a todos estos átomos con fuertes interacciones pueden describirse en términos de fonones. En muchos casos, un cristal se puede representar simplemente por una caja que contiene partículas de sonido

–los fonones– prácticamente sin interacciones mutuas. Cuanto más caliente está el cristal, más se agitan sus átomos y, por tanto, más fonones contiene. Sin embargo, para explicar detalladamente los fenómenos, hay que ir más lejos: éste es el caso de la conducción del calor en un sólido más caliente en un extremo que en el otro.

La mayoría de los metales son mejores conductores térmicos que los aislantes, ya que pueden conducir el calor no sólo gracias a sus fonones sino también gracias a sus cargas portadoras de la electricidad. De hecho actualmente, para un físico del estado sólido, un metal es una caja que contiene un fluido de electrones que interaccionan muy débilmente entre sí y que coexisten con un gas de fonones. Las interacciones electrón-fonón también son débiles, pero no despreciables. En cualquier caso, en aislantes como los plásticos, la sal común o el vidrio, como no hay electrones móviles, el calor sólo es transportado por los fonones. Del mismo modo que los fotones se propagan a la velocidad de la luz, los fonones lo hacen a la del sonido, es decir, mucho más despacio, pero a una buena decena de kilómetros por segundo, con todo, en cristales típicos. Por tanto, se podría pensar que el calor se propaga muy deprisa en los sólidos, pero esto es falso. Si se calienta uno de los extremos de un sólido aislante, el calor se difunde muy lentamente hacia el otro extremo. ¿Por qué?

Porque los fonones son absorbidos difundidos por colisión antes de propagarse muy lejos. En un cristal perfecto, a temperatura absoluta nula, un fonón, una vez creado, se propaga en principio a la velocidad del sonido hasta que alcanza una superficie. Pero la mayoría de los sólidos distan de ser cristales perfectos y su temperatura no puede ser nunca estrictamente nula. Por tanto, los fonones son difundidos por las impurezas (átomos de otra especie), los defectos cristalinos (en especial las uniones entre granos de orientaciones distintas) e incluso los otros fonones, siempre presentes a cualquier temperatura no nula. Una estimación razonable apenas da algunas longitudes de onda de trayecto rectilíneo para un fonón antes de que sufra una colisión. En el intervalo audible, es mucho más, ya que la longitud de onda es grande y las impurezas los otros fonones se «ven» entonces como detalles sin importancia. Pero el calor está constituido principalmente por fonones de alta frecuencia y, por tanto, de corta longitud de onda (algunas veces la distancia interatómica tan sólo). De ahí que la conducción del calor sea lenta, ya que los fonones térmicos sufren un número enorme de colisiones antes de atravesar una pieza sólida de un tamaño razonable.

El efecto fonoatómico es un fenómeno en el que los fonones intervienen de uno en uno. Por ello su observación sólo ha sido posible gracias a los recientes progresos en la ciencia de los materiales, evidentemente alentados a su vez por el desarrollo de la física de los semiconductores y sus aplicaciones, en especial por una demanda incesante de materiales más puros para componentes cada vez más complejos. En efecto, hoy en día se pueden fabricar grandes muestras muy puras y monocristalinas. Las técnicas son secretos industriales, pero los productos son increíblemente baratos. Por ejemplo, un monocristal de zafiro, puro, de unos diez centímetros cúbicos, puede adquirirse por algunos centenares de dólares a numerosos fabricantes que compiten entre sí. En estos cristales, a baja temperatura, pueden propagarse libremente varios centímetros, fonones de un centenar de distancias interatómicas de longitud de onda. Esta condición era necesaria para la observación de nuestro efecto.

Dos experimentos preliminares

El método que hemos utilizado es sencillo. Numerosos grupos de investigación en Europa y Estados Unidos han utilizado variantes, empezando por H. Harris y sus colaboradores en la Brown University hacia 1970.[1] Pero yo prefiero describir lo que hemos hecho junto a Peter Taborek a partir de 1979[2] El experimento utiliza un cristal de zafiro de aproximadamente un centímetro de grueso (fig. 4). Sobre una de las caras pulidas del cristal se ha depositado una pequeña resistencia en forma de película emisora de calor, condensado los átomos de un vapor de aleación metálica. Esta película calefactora es un cuadrado de unos 0,3 milímetros de lado y 500 capas atómicas de espesor. En la cara opuesta se ha depositado una película de estaño, de igual tamaño, detectora del calor llamada bolómetro. Éste se mantiene exactamente a la temperatura a la que se convierte en superconductor. Durante este cambio de estado, la «transición superconductora», la resistencia eléctrica del estaño cambia bruscamente. Por tanto la recepción de una muy pequeña cantidad de calor modifica mucho la resistencia eléctrica del bolómetro, que es así un detector muy sensible.

Un primer experimento, preliminar, se desarrolla de la siguiente forma: en el instante cero se envía al emisor de calor un impulso de corriente eléctrica que lo calienta unos 8 kelvines por encima de la temperatura ambiente en el experimento (unos 2 kelvin, es decir −271 °C). Como el emisor es una película muy

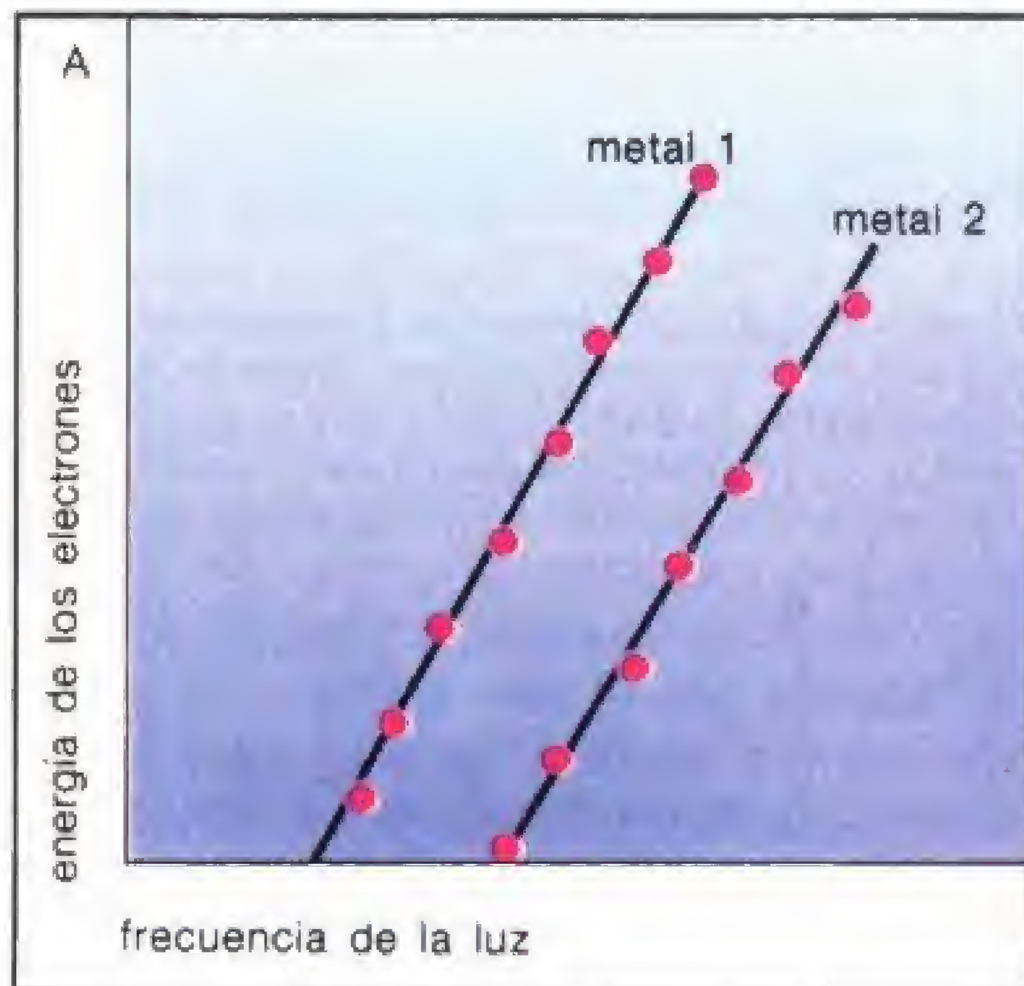


Figura 3. Cuando se ilumina un metal, la energía penetra en él en forma de cuantos de luz (fotones) y eyecta electrones. Es el efecto fotoeléctrico. Si el electrón está ligado al metal (A) con una energía W, y si absorbe un fotón de energía hν, será eyectado con una energía igual a la diferencia (hν - W). Esta célebre predicción de Einstein fue confirmada en 1915-16 en una serie de experimentos realizados por Robert Millikan. Los fotones emitidos por un foco luminoso arrancan los electrones de la superficie metálica de un cátodo (B). La energía cinética máxima de estos fotoelectrones es proporcional al potencial V que hay que aplicar para detener el paso de la corriente. La pendiente de las rectas medida en diferentes metales es igual a la constante de Planck h. La abcisa en el origen se relaciona con la energía de enlace W de los electrones en cada metal.

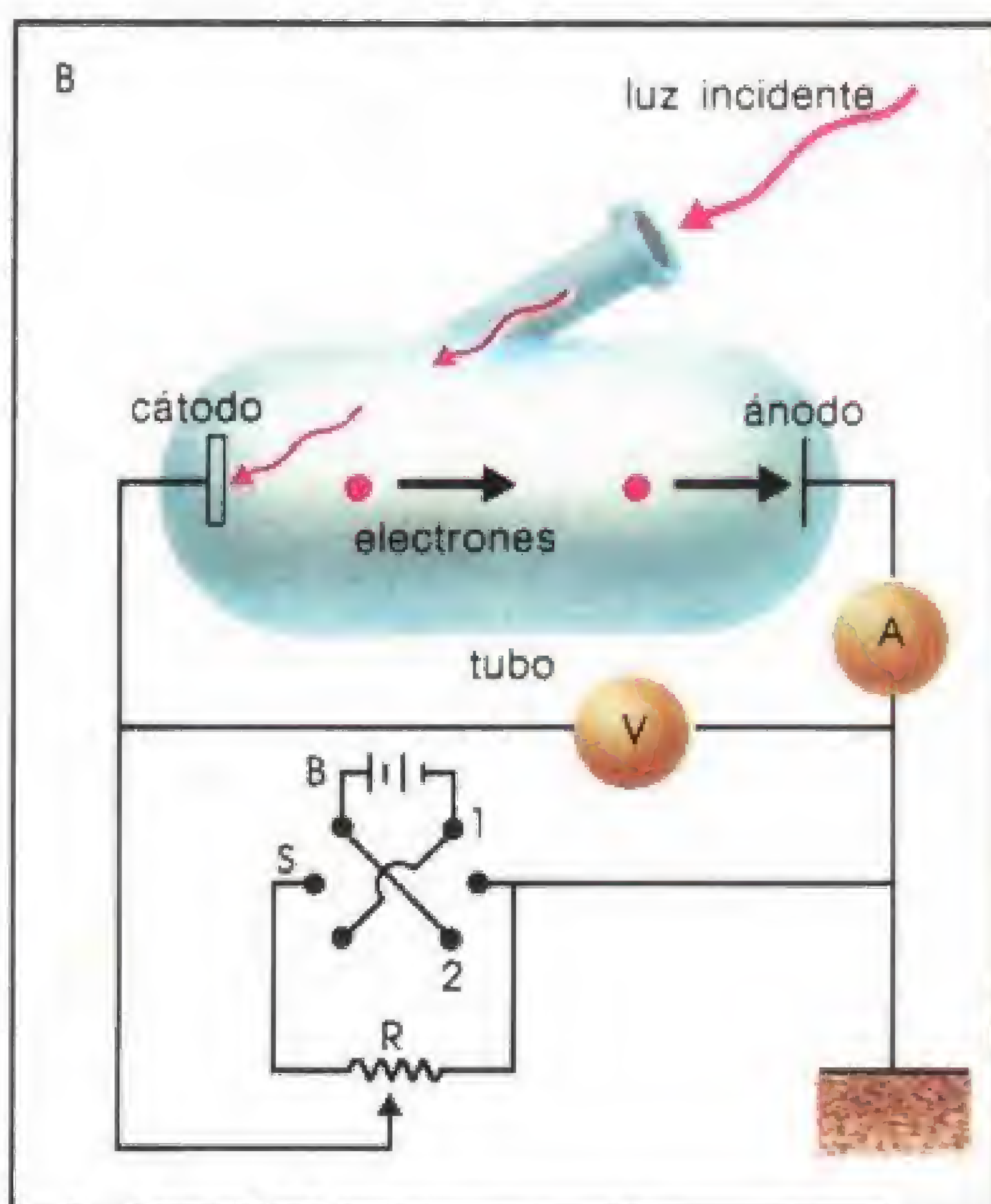


Figura 4. Un primer experimento, sencillo en su fundamento, permite demostrar que a baja temperatura el calor se propaga en un cristal de zafiro puro a la velocidad del sonido. En el dispositivo utilizado en 1979 por David Goodstein y su equipo, una película calefactora, metálica, y un bolómetro detector del calor, se depositan por evaporación sobre las dos caras del cristal (de 1 centímetro de grueso). El bolómetro, constituido por un serpentín de estaño de 10 micras de largo, es un superconductor cuya resistencia eléctrica es extremadamente sensible a la absorción eventual de calor. Está unido, al igual que la película calefactora, a dos tomas de contacto eléctrico que son de cobre depositado por evaporación sobre la superficie del cristal. El conjunto está sumergido en un baño de helio líquido, a una temperatura de 2 kelvin. Al enviar un impulso eléctrico de 100 nanosegundos al emisor, se eleva bruscamente su temperatura. El emisor irradia entonces fonones. El experimento consiste en medir el tiempo empleado por estos fonones en propagarse por el cristal hasta el bolómetro que los detecta. Los resultados están representados en la figura siguiente. (Foto. CALTECH/B. Paz.)

(1) C.J. Guo, H.J. Maris, *Phys. Rev. A10*, 960, 1974.
(2) P. Taborek, D. Goodstein, *J. Phys. C: Solid State Phys.*, *12*, 4737, 1979; *Phys. Rev. B22*, 1550, 1980.

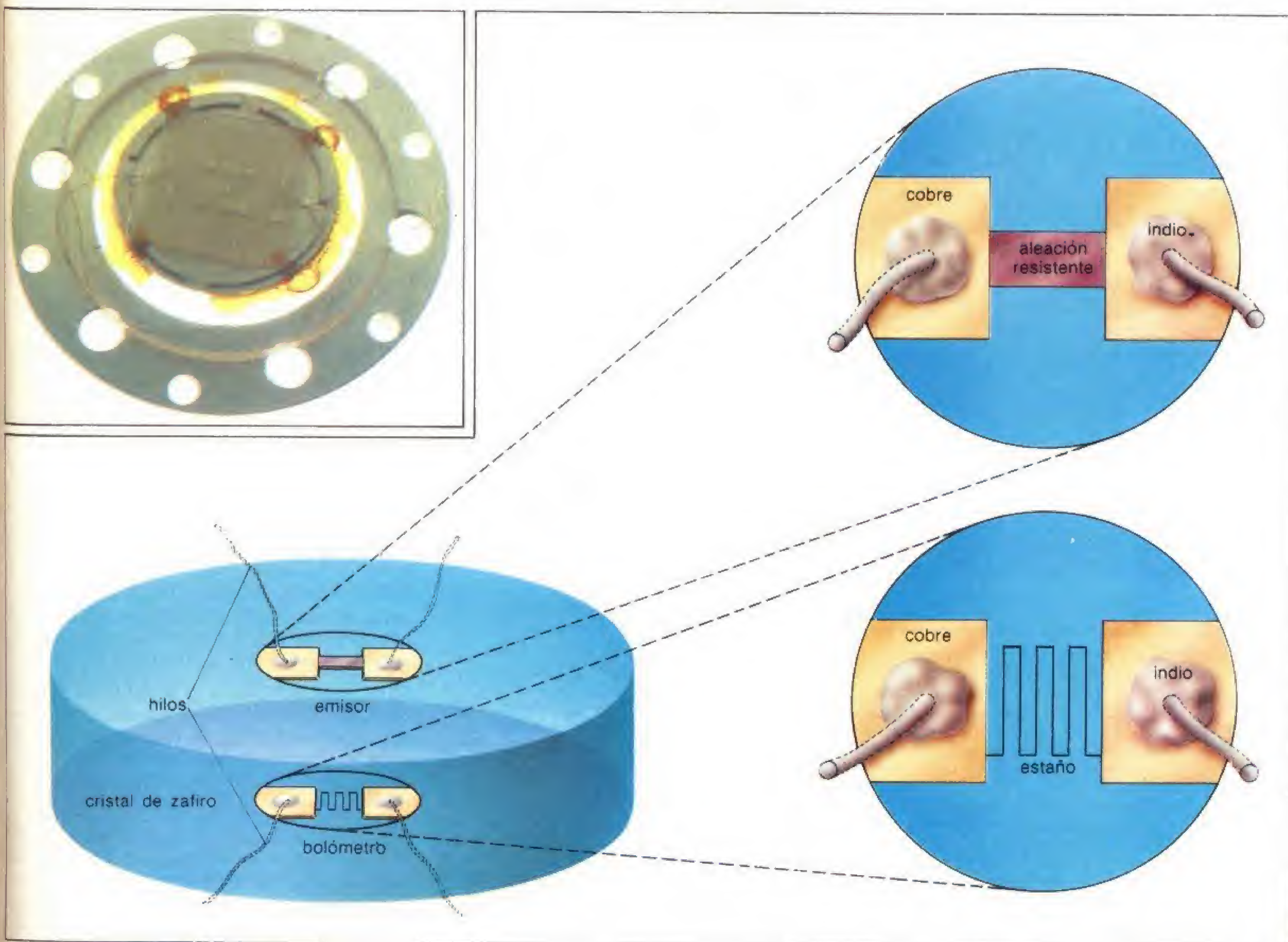
delgada, su temperatura se eleva muy deprisa, en algunos nanosegundos (un nanosegundo vale 10^{-9} segundos). El impulso de corriente dura 100 nanosegundos, luego cesa y el emisor vuelve a bajar a 2 kelvin rápidamente. Pero durante todo el tiempo que está caliente (10 kelvin), irradia fonones, igual exactamente que fotones el filamento de una lámpara de incandescencia. Algunos de estos fonones alcanzan el bolómetro y, cuando se registra su resistencia en función del tiempo, se observa una respuesta constituida por dos señales: una a 1 microsegundo y la otra a 1,7 microsegundos (fig. 5). En efecto, en los cristales hay ondas de compresión longitudinales, como el sonido en el aire, pero también ondas de cizalladura transversales que son más lentas. Las dos señales corresponden exactamente al tiempo que los dos tipos de ondas invierten en recorrer la distancia emisor-bolómetro. Así, ya este experimento muestra que, a esta temperatura, el calor se propaga por el zafiro a la velocidad del sonido a lo largo de distancias macroscópicas. Pero nosotros hemos utilizado el mismo tipo de montaje para ir más lejos.

En un segundo experimento, el emisor y el detector han sido depositados en dos cristales de zafiro distintos, enfrentados uno a otro y separados por un espacio de un milímetro (fig. 6). Cuando el sistema se enfría hata 2 kelvin, se hace entrar un poco de helio gaseoso que se deposita sobre todas las superficies en forma de una película muy delgada (dos capas atómicas). Esta adsorción sólo depende de la temperatura y de la cantidad de gas admitido. Los átomos de helio adsorbidos están en cierto modo ligados a la superficie con una energía de enlace que habrá que vencer para separarlos. Luego se hace la misma medida que en el caso anterior: en el instante cero se envía un pulso y se registra la respuesta del bolómetro en función del tiempo. Pero esta vez la energía térmica ya no es transportada por los fonones. En el intersticio son los átomos de helio los que la transportan. La mayoría de los átomos que recubren el emisor son en efecto desadsorbidos durante el pulso eléctrico. La energía térmica que se les comunica actúa sobre la energía de enlace que los retenía en la superficie del emisor.

Al adsorberse en la superficie del bolómetro, estos átomos calientan ligeramente al detector, que de este modo es sensible a su llegada. No todos se propagan a la misma velocidad, pero se agrupan alrededor de unas velocidades características de su temperatura. Cuanto más elevada es esta temperatura, más rápidos son los átomos, y más corto es el tiempo de llegada de la señal al bolómetro. Para cada máximo de la señal, este tiempo corresponde totalmente a la temperatura del emisor durante el pulso eléctrico. En otras palabras, calentar el sustrato equivale a calentar la película de helio que se desadsorbe igual que se evapora un líquido. Estos experimentos preliminares nos llevan al efecto fonoatómico propiamente dicho.

Una detección más fácil de lo previsto

El experimento, por tercera vez, incluye todos los elementos, pero con otra configuración. Esta vez el emisor está sobre la cara del cristal opuesta al intersticio (fig. 7). Para pasar del emisor al bolómetro, la energía tiene que atravesar primero el zafiro en forma de fonones y luego el intersticio en forma de átomos desadsorbidos por los fonones. ¿Qué puede pasar? Hay dos posibilidades. Bien, como en el segundo experimento, los fonones que llegan a la interfaz zafiro-helio calientan la película de helio que se desadsorbe a su nueva temperatura, en cuyo caso el efecto colectivo de los fonones es un promedio; bien cada átomo eyectado ha adsorbido



Los fonones pueden eyectar los átomos de una superficie de uno en uno.

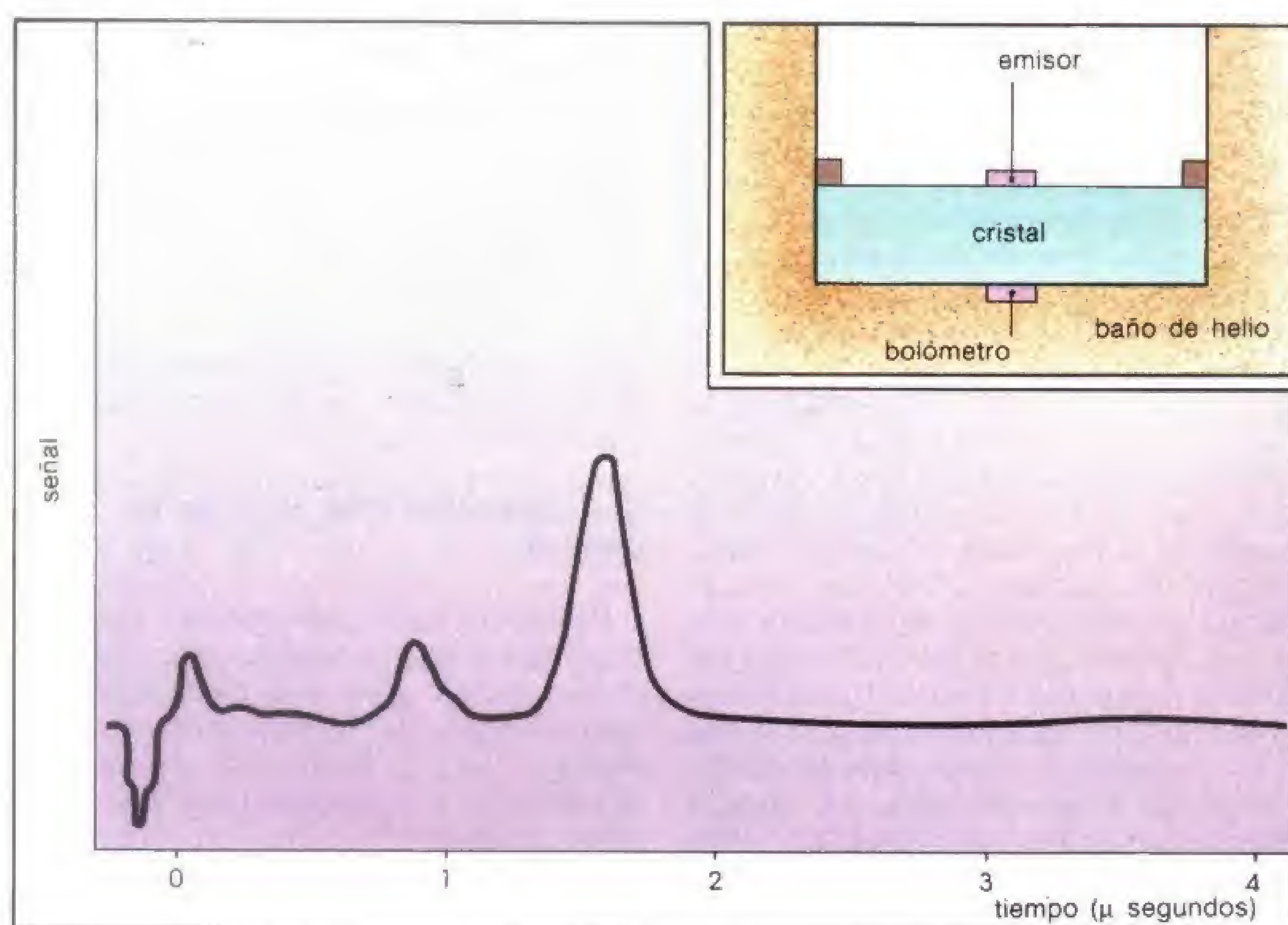


Figura 5. Esta figura muestra los resultados obtenidos con el dispositivo representado en la figura precedente (y recordado aquí en un encuadre). Cuando los fonones emitidos en el instante cero por la película calefactora alcanzan el bolómetro, se detecta una señal constituida por dos picos a 1 y 1,7 microsegundos respectivamente. En efecto, el calor puede transmitirse por un cristal de dos maneras: por medio de ondas de compresión longitudinales (como el sonido en el aire) y también por medio de ondas de cizalladura transversales que van más lentamente. Los dos picos corresponden exactamente al tiempo empleado por los dos tipos de ondas en atravesar el cristal. Por consiguiente, este experimento demuestra ya que a baja temperatura el calor se propaga por el zafiro a la velocidad del sonido.

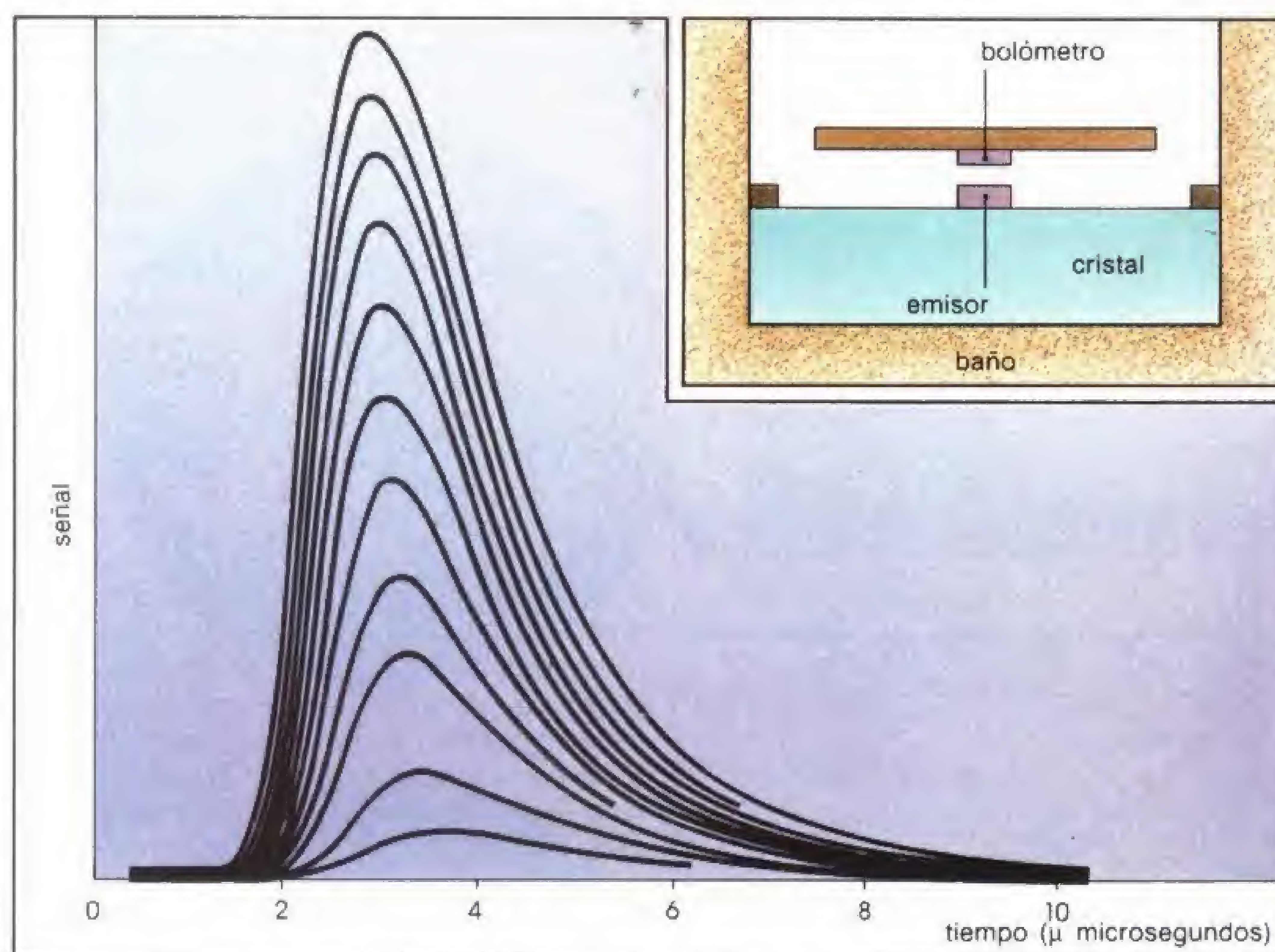


Figura 6. En una segunda serie de experimentos realizados siempre por David Goodstein y su equipo, el emisor del calor y el bolómetro están esta vez dispuestos uno frente a otro, sobre las superficies de dos cristales de zafiro distintos, separados por un espacio vacío de 1 milímetro. Se introduce en la célula un poco de helio líquido, de modo que las dos superficies libres queden recubiertas por una película de helio adsorbido de unas dos capas atómicas de grueso. En el instante cero se envía de nuevo un impulso eléctrico de 100 nanosegundos a la película calefactora y se registra la respuesta del bolómetro en función del tiempo. Esta vez, por tanto, la energía térmica es transportada por los átomos de helio. Éstos son desadsorbidos de la superficie del emisor durante el impulso eléctrico. Atraviesan luego el espacio libre antes de ir a adsorberse en la superficie del bolómetro. Si el emisor se calienta a temperaturas cada vez mayores (con impulsos eléctricos de potencia cada vez más elevada), el máximo de las curvas registradas se desplaza hacia los tiempos más cortos. En efecto, cuanto más elevada es la temperatura del emisor, más deprisa van los átomos y más corto es su tiempo de llegada al bolómetro. Este experimento demuestra que calentar el emisor equivale a calentar la película de helio que se desadsorbe como se evaporaría un líquido. Para detectar el efecto fonoatómico propiamente dicho hay que combinar, de hecho, este experimento con el precedente.

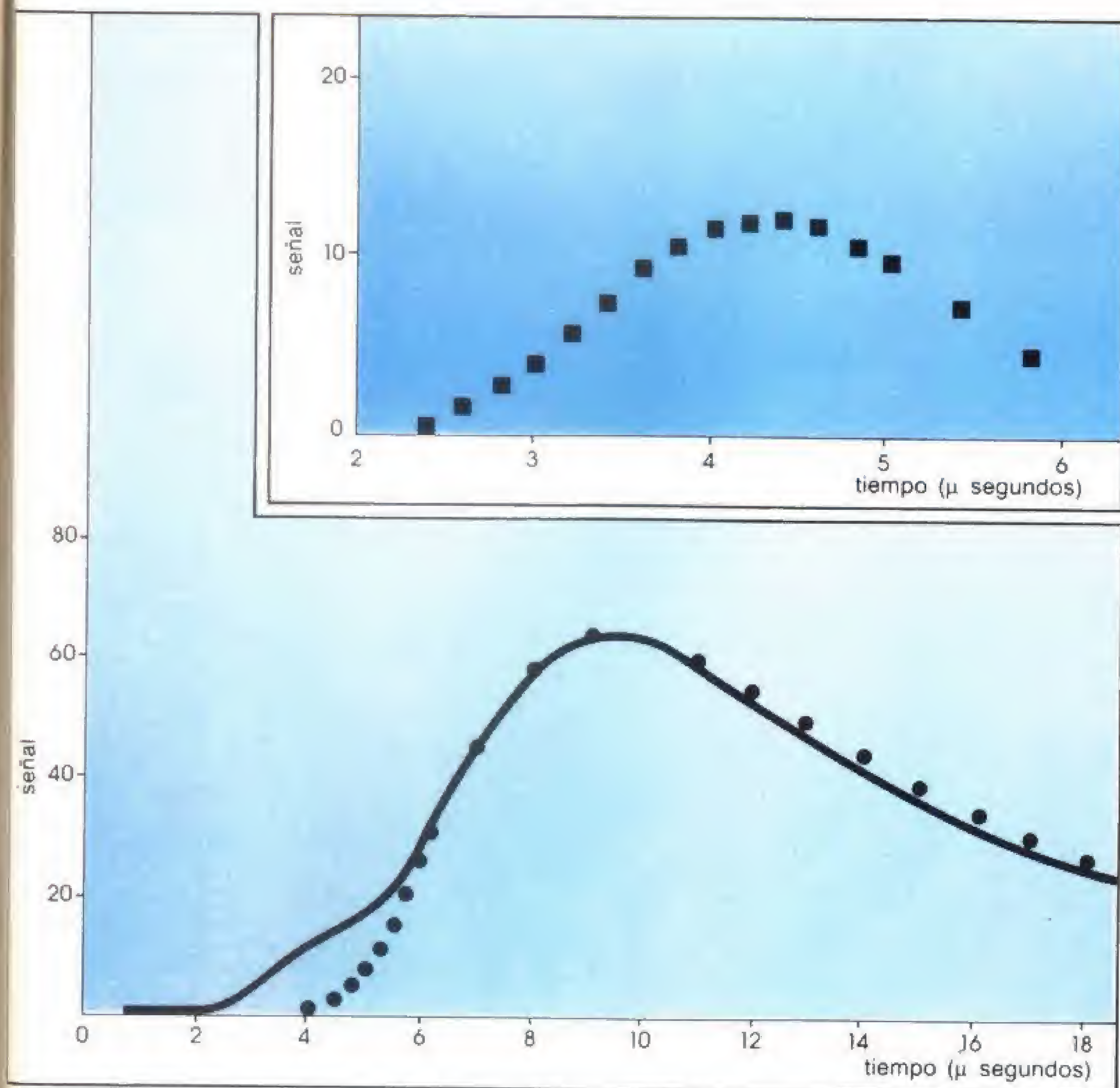
(3) M. Sinvani *et al., Phys. Lett. 95A*, 59, 1983.

exactamente toda la energía de un único fonón incidente, y se está frente a un proceso cuántico en el que sólo intervienen dos partículas: un átomo y un único fonón. Esta segunda posibilidad es el efecto fonoatómico.

Lo más sencillo sería que estas dos posibilidades constituyesen un solo y único fenómeno. Sería muy cómodo poder decir que toda desadsorción térmica, es decir, que cualquier eyección de átomos a partir de una superficie calentada, se reduce en una conjunción de efectos fonoatómicos. Pero como no es así las cosas no pueden ser tan sencillas. En efecto, en muchos casos, la energía de enlace de un átomo a una superficie es mayor que la de los fonones más energéticos del material sólido. Pero estos átomos pueden ser desadsorbidos por calentamiento. Hay pues necesariamente procesos de desadsorción más complejos, que hacen intervenir varios fonones en vez de uno solo. Por consiguiente, el problema no reside en saber si el efecto fonoatómico es el fundamento de toda desadsorción, sino más bien en si es posible demostrar su existencia. Para ello se tiene que poder distinguir experimentalmente el acontecimiento fundamental que es el efecto fonoatómico de todos los demás, sin duda más complejos, que podemos clasificar colectivamente con el nombre de «desadsorción térmica». Esto se reveló más fácil de lo previsto.

En efecto, como el emisor irradia fonones en todas direcciones, el calor que llega a la cara opuesta por unidad de superficie es muy pequeño, menos de una diezmilésima del que había producido la señal del segundo experimento (fig. 6). Por tanto, los fonones calientan sin duda la película de helio, pero muy poco, y la temperatura de los átomos desadsorbidos tiene que ser muy poco diferente de los 2 kelvin ambientales. Esto significa que la señal de desadsorción térmica tiene que llegar bastante después que el impulso inicial. De otra parte, aunque los fonones sean helio numerosos, son calientes, es decir de alta frecuencia o de alta energía, ya que llegan directamente del emisor que está caliente (10 kelvin en lugar de 2 kelvin). Si el efecto fonoatómico tiene lugar, producirá átomos eyectados con una gran velocidad que refleja estos diez kelvin. Estos átomos llegarán más deprisa al bolómetro. Si la analogía con el efecto fotoeléctrico es completa, la energía y por tanto la velocidad de los átomos (electrones) eyectados no dependerá de la intensidad, es decir, del número de fonones (fotones) incidentes, sino de su frecuencia.

Nuestros resultados han demostrado que la desadsorción térmica y el efecto fonoatómico tienen lugar simultáneamente. La señal recibida presenta dos colinas (fig. 7), una grande que corresponde a la desadsorción térmica, y otra más pequeña, para tiempos de vuelo



célula
bolómetro
máscara
cristal
vacío
emisor
baño

Figura 7. El efecto fonoatómico es un fenómeno en el que intervienen un solo átomo y un solo fonón: el fonón comunica toda su energía al átomo que se desadsorbe. Para detectar este efecto hay que poder distinguirlo de todos los otros fenómenos más complejos que se clasifican colectivamente con el nombre de desadsorción térmica. El dispositivo experimental utilizado al efecto comprende los mismos elementos que anteriormente: película emisora de calor, cristal de zafiro, bolómetro. El emisor está situado sobre una cara de cristal. La otra cara está recubierta por una película de helio y separada del bolómetro por un espacio de 1 milímetro. Por tanto, los fonones emitidos atraviesan el cristal. Primero pueden calentar colectivamente la película de helio que se desadsorbe luego a una temperatura (muy ligeramente) más elevada. Entonces el efecto colectivo de los fonones resulta promediado y se traduce en una ancha colina centrada en 9 nanosegundos. Pero un fonón también puede comunicar toda su energía a un solo átomo. Éste es entonces eyectado con una velocidad mayor y llega por tanto más rápidamente al bolómetro. Es el efecto fonoatómico que se traduce en una pequeña colina centrada hacia los 4 microsegundos. Para que aparezca más claramente esta segunda colina, se ha calculado la forma de la primera y se ha restado su contribución del conjunto de la señal registrada. El pico que subsiste se ha representado en la parte superior de la figura. Es la firma indiscutible del efecto fonoatómico.

más cortos que corresponden al efecto fonoatómico. Obtenidos en 1982 con mis colegas Moshe Sinvani y Peter Taborek, estos resultados constituyeron la primera demostración experimental de la existencia del efecto fonoatómico.(3)

Idealmente, sería deseable realizar este experimento con fonones monocromáticos, es decir, de una frecuencia determinada, igual que Millikan utilizó luz monocromática para estudiar el efecto fotoeléctrico. Al utilizar una serie de frecuencias sucesivas, logró verificar la teoría de Einstein, medir la constante de Planck y también la energía de enlace de los electrones en diferentes metales. Aunque ya no hay necesidad de medir la constante de Planck y se dispone de otros medios para medir la energía de enlace de los átomos de helio, sería espectacular repetir un experimento análogo al de Millikan con una fuente variable de fonones monocromáticos.

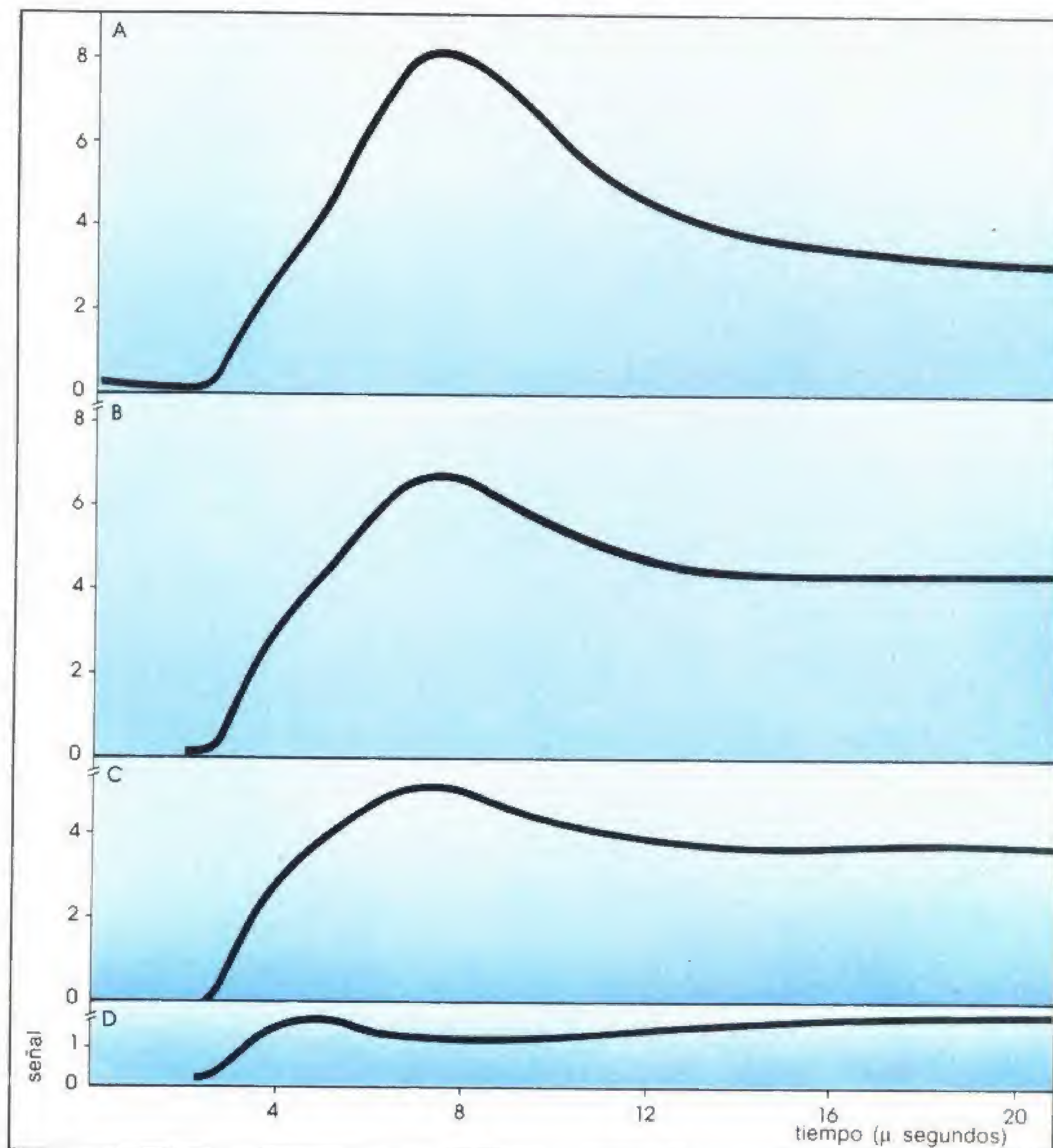


Figura 8. En un experimento realizado en 1985, David Goodstein, Roya Maboudian, Francesco Scaramuzzi, Moshe Sinvani y Gianfranco Vidali volvieron a utilizar el montaje de la figura 7 haciendo variar el grosor de la película de helio adsorbida de 2 a 0,5 capas atómicas (A a D). La curva A corresponde a una película de unas dos capas atómicas de grueso y es similar a la de la figura precedente. Cuando disminuye el grosor de la película de helio, disminuyen también las contribuciones respectivas de la desadsorción térmica y del efecto fonoatómico; la primera más rápidamente que la segunda. De modo que, en este último experimento, la contribución del efecto fonoatómico aparece cada vez más claramente.



JAPON



MICROSCOPIOS KYOWA

Trioculares, binoculares, monoculares. Biológicos. Metalúrgicos. De Polarización. Estereoscópicos. Amplia gama de accesorios: Iluminadores de fibra óptica, halógenos o luz Köehler, equipos contraste de fases, visores, cámaras Polaroid y reflex...



V/O MASHPRIBORINTORG

Microscopios y Aparatos Científicos



U.R.S.S.



Microscopio de Fluorescencia



Dos Microscopios excepcionales para Escuelas y Colegios
CALIDAD-PRECIO-ROBUSTEZ

Microscopio de Estudiante

Mod. BIOLAM S-11
1350x

Microscopio Escolar

Mod. UM-301
300x



telescopios MIZAR

REFRACTORES, REFLECTORES, CATADIOPTRICOS



JAPON





EE.UU.



M13 en Hércules
(foto C-8)

SCHMIDT-CASSEGRAIN, MAKSUTOV, NEWTON, REFRACTORES, Cámaras SCHMIDT y WILLIANS (CO_2)

SHIBUYA OPTICAL

☆ REFRACTOMETROS
- De ABBE
- Gemológicos
- De mano para azúcar
- De mano, clínico

☆ MICROTOMOS
- Deslizamiento
- Rotación
- Congelación
- De mano



JAPON



Importador y Distribuidor para ESPAÑA



MICROCIENCIA, S.A.
Burdeos, 22-24. Tel. 250 58 56/55
Télex 54 785 MICCE - 08029 Barcelona



Un fenómeno análogo: la evaporación cuántica del helio.

Desgraciadamente no se dispone actualmente de estas fuentes en el intervalo de frecuencias deseado. Por tanto, hemos tenido que conformarnos con nuestra película calentada que emite toda una distribución de frecuencias dependiente de su temperatura (exactamente, por otra parte, según la ecuación que Planck escribió en 1900 para la radiación electromagnética de los cuerpos calientes). En el efecto fonoatómico, la energía de los átomos desadsorbidos es igual a la diferencia entre la energía del fonón incidente y la energía de enlace, por lo que los átomos de helio son emitidos con una distribución de velocidades, lo cual explica que se observa una señal en forma de colina y no de pico estrecho. Para verificar esta explicación hemos intentado también comprender el comportamiento del fenómeno, y por tanto de esta señal, en función del grosor de la película de helio. Esto nos ha llevado a plantear otra pregunta: ¿en cuánto tiempo se producen una desadsorción?

Cuanto más delgada es la película, más cerca del zafiro están los átomos y más grande es su energía de enlace. Reduciendo el grosor se podría esperar, pues, que disminuyese el efecto fonoatómico ya que, al aumentar la energía de enlace, cada vez habría menos fonones incidentes con la energía de enlace para eyectar directamente los átomos (en cambio, siempre tendrían la posibilidad de calentar el helio y de contribuir a la desadsorción térmica). Por el contrario, el efecto fonoatómico aparece más claramente (fig. 8). En colaboración con Roya Maboudian, Francesco Scaramuzzi, Moshe Sinvani y Gianfranco Vidali, hemos demostrado que al pasar sucesivamente de una película de helio de dos capas atómicas a aproximadamente media capa, la señal rápida debida al efecto fonoatómico es cada vez más marcada, en detrimento de la debida a la desadsorción térmica.[4] De hecho, disminuyen las dos; pero la segunda mucho más que la primera. En colaboración con Michael Weimer hemos encontrado una explicación al estudiar la dependencia temporal de la desadsorción térmica. El efecto fonoatómico tiene lugar instantáneamente cuando el pulso de fonones llega a la superficie y es proporcional al caudal de fonones con suficiente energía. En cambio, en la desadsorción térmica, la película de helio tiene que cambiar primero de temperatura. Esto implica que se producen colisiones entre fonones. Luego la película se evapora progresivamente, pero ello lleva un tiempo bastante largo que depende de la energía de enlace. En las películas delgadas, ésta es elevada y la desadsorción requiere más tiempo que en las películas gruesas. Por tanto, se distingue menos el efecto fonoatómico (fig. 8) porque está menos extendido en el tiempo que la señal de desadsorción térmica. En suma, el fenómeno se puede resumir de la manera siguiente: durante el tiempo que dura el impulso de calor emitido, un flujo constante de fonones de diversas energías alcanza la superficie. Aquéllos cuya energía es suficiente (superior a la energía de enlace) son capaces de eyectar átomos por efecto fonoatómico; lo hacen instantáneamente. Los otros fonones, en cambio, se implican en procesos más complejos que duran por tanto más tiempo y que conducirán a la desadsorción térmica. Esta desasorción produce átomos lentos emitidos con retraso. Finalmente, si la película adsorbida es muy delgada, la parte fudamental de la señal recibida parece deberse al efecto fonoatómico.

(4) D. goodstein *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, *54*, 2034, 1985.
(5) D. Goodstein, M. Weimer, *Surface Science*, *125*, 227, 1983.
(6) F.R. Hope *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, *52*, 1528, 1984.

La evaporación cuántica

Como dejamos entender al principio de este artículo, hay una estrecha y profunda analogía entre el efecto fonoatómico y la evaporación del helio superfluido a muy baja temperatura.[6] El helio es la única sustancia que no se solidifica cuando se enfría a la presión de vapor saturante hasta el cero absoluto: se hace superfluido, es decir, pasa a un estado más ordenado, más sencillo que un líquido ordinario por razones cuánticas. En particular, en el helio superfluido, por debajo de 0,1 kelvin, el calor no se difunde de una manera compleja. Se transmite en forma de fonones capaces de propagarse libremente a grandes distancias, exactamente como los fonones de nuestro zafiro. En la Universidad de Exeter, en 1983, F.R. Hope, M.J. Baird y A.F.G. Wyatt, al repetir un experimento realizado por primera vez en la Escuela Normal Superior de París por Sébastien Balibar, demostraron que los fonones del hielo pueden evaporar átomos uno a uno, por medio de un proceso muy similar al efecto fonoatómico y que han llamado evaporación cuántica. La evaporación y la desadsorción, fenómenos distintos, pero muy próximos, comparten pues, al menos un mecanismo común.

Antes de la obtención de todos estos resultados que acabamos de describir y durante muchos años, los teóricos se preguntaban si la desadsorción y la evaporación cuánticas (o inversamente la adsorción y la condensación cuánticas) existían realmente. Actualmente se ha aportado la prueba experimental de la existencia de estos fenómenos y es realmente una etapa importante. Pero, como hemos dicho, la desadsorción y la evaporación son transiciones de fase familiares pero complejas, que las recientes investigaciones no han aclarado completamente. No tiene lugar únicamente a partir de efectos cuánticos sencillos como el efecto fonoatómico, ya que la desadsorción térmica se basa también en procesos más complejos en los que intervienen más partículas, bien simultáneamente, bien en varias etapas. No obstante, se sabe ya que al menos interviene un efecto cuántico elemental. En cuanto a las aplicaciones potenciales del efecto fonoatómico, es seguro que tienen pocas probabilidades de ser inmediatamente prácticas: no se adivina cómo el efecto fonoatómico podría remplazar al fotoeléctrico en los ascensores. Pero podría convertirse en un nuevo útil para el estudio de las superficies cristalinas, de los mecanismos de transporte del calor a través de las interfaces entre materiales, o de la creación y la propagación de fonones térmicos en los cristales. Todos estos problemas pertenecen a campos tan importantes como dinámicos en la investigación contemporánea. ■

Para más información:

- D. Goodstein, *States of Matter*, Dover, Nueva York, 1985.
Este libro se dirige a los estudiantes de nivel avanzado, pero muchos de los puntos discutidos pueden comprenderse independientemente de su desarrollo matemático. Versa sobre la física de los sólidos, de los líquidos y de los gases, las transiciones de fase, los fonones, el helio líquido y la superconductividad.
- J. H. de Boer. *The Dynamical Character of Adsorption*, Clarendon Press, Oxford, 1968.
- J. G. Dash, *Films on Solid Surfaces*, Academic Press, Nueva York, 1975.
- D. Goodstein *in Nonequilibrium Photon Dynamics*, (W. Bron Ed.), Plenum, Nueva York, 1985.
En un capítulo de este libro para especialistas, se sitúa el efecto fonoatómico en el contexto general de las investigaciones que se relatan.

Fe de erratas

En el sumario de nuestro número de enero, n.º 65, aparecieron anunciados por error tres artículos: «¿Dejará de crecer la población mundial?», «Una nueva hormona del cerebro» y «La jirafa y la serpiente: un mismo combate contra la gravedad»; el primero se incluye en este mismo número en la página 135 y el segundo y tercero se publicarán en nuestro próximo número.

PUBLICACIONES RECIBIDAS

- ***Máquinas, sistemas y modelos,*** Javier Aracil, Editorial Tecnos, Madrid, 1986.
- ***Ética mínima,*** Adela Cortina, Editorial Tecnos, Madrid, 1986.
- ***Contacto,*** Una colección sencilla y asequible para empezar a conocer la naturaleza, Ediciones Penthalon, Madrid, 1986.
- ***La base de la Química,*** Augusto Ibáñez, Ediciones Penthalon, Madrid, 1986.
- ***Tiempo, Espacio y Medicina,*** Larry Dossey, Editorial Kairós, Barcelona, 1986.
- ***El Universo oculto,*** Michael Disney, Editorial Gedisa, Barcelona, 1986.
- ***El clima futuro,*** John Gribbin, Salvat Editores, Barcelona, 1986.
- ***Cerebro y psique,*** Jonathan Winson, Salvat Editores, Barcelona, 1986.
- ***Intuición y razón,*** Mario Bunge, Editorial Tecnos, Madrid, 1986.
- ***Claves ciertas,*** Gerald Feinberg, Salvat Editores, Barcelona, 1986.
- ***Doce pequeños huéspedes,*** Karl von Frisch, Salvat Editores, Barcelona, 1986.
- ***PRODUCTRÓNICA,*** n.° 3, Información mensual de nuevos productos tecnológicos, Baixareu Editores, Barcelona, diciembre, 1986.
- ***Intelectuales contra el intelecto,*** Leszek Kolakowski, Tusquets Editores, Barcelona, 1986.
- ***Enciclopedia de Menorca,*** Ecología Marina (IV) por X. Jansà i Clar, obra cultural de Menorca.
- ***Integral,*** n.° 84, ecología, salud y vida natural, Barcelona, diciembre, 1986.
- ***La ciencia en la URSS,*** Academia de Ciencias de la URSS, revista científico-informativa ilustrada bimestral.
- ***Revista Ibérica de Parasitología,*** volumen, 46, Edita el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Granada.
- ***Arbor,*** ciencia, pensamiento y cultura, Edita el CSIC, Madrid.
- ***Política científica,*** Edita el Ministerio de Educación y Ciencia, Madrid, 1986.
- ***Sociedad y cultura hoy,*** Boletín para uso exclusivo de la Prensa, Agencia de Prensa Novosti, Madrid.
- ***Proyecto 2000,*** n.° 18, Ingeniería del diseño y desarrollo de los productos, Edita Pulsar, Barcelona, 1986.
- ***Revista de Robótica,*** n.° 19, Tecnología y aplicaciones de los robots industriales, Edita Pulsar, Barcelona, 1986.

folia botanica miscellanea / 5

INDEX

Departament de Botànica
Facultat de Biologia
UNIVERSITAT DE BARCELONA
1986



- ***CQ,*** n.° 32 radio Amateur, Edita Boixareu Editores, Barcelona, 1986.
- ***Eureka,*** n.° 0, publicación científia de alumnos de 5.° de Químicas de la Universidad de las Islas Baleares.
- ***Anales de edafología y agrobiología,*** nos. 1-2, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, 1986.
- ***Folia botanica miscelanea,*** n.° 5, Edita la Universidad de Barcelona, Facultad de Biología.
- ***El maestro y yo,*** Pio del Río Ortega, Edita el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1986.
- ***El frío y las tinieblas,*** El mundo después de una guerra nuclear, varios autores, Alianza Editorial, Madrid, 1986.
- ***Informática UB,*** n.° 5, revista de Informática universitaria, Centre de Informàtica, Universidad de Barcelona.
- ***Estudios Geológicos,*** vol. 42 (4-6), Museo Nacional de Ciencias Naturales, Edita, el CSIC, Madrid, 1986.
- ***Campus,*** n.° 11, revista de la Universidad de Granada, Edita el Vicerrectorado de Extensión Universitaria, Granada, diciembre, 1986.
- ***Endeavour,*** n.° 2, vol. 10, Pergamon Press, Nueva York, 1986.
- ***Corazón y salud,*** n.° 7, Edita la Fundación Hispana de Cardiología, Madrid, 1986.
- ***Butlletí informatiu de la Universitat de les Illes Balears,*** n.° 8, 1986.
- ***Óptica pura y aplicada,*** n.° 2, vol. 19, Edita el Instituto de Óptica «Daza de Valdés», CSIC, Madrid, 1986.
- ***Aster,*** n.° 98, Edita la Agrupació Astronòmica de Barcelona, 1986.
- ***Electrónica hoy,*** n.° 19, actualidad y tecnología del sector electrónico, Ediciones Arcadia, Madrid, 1986.
- ***Mundo electrónico,*** n.° 168, Edita Boixareu Editores, Barcelona, diciembre, 1986.
- ***Telos,*** n.° 7, Cuadernos de Comunicación, Tecnología y sociedad, Fundesco, Madrid, 1986.
- ***Corrosión y protección,*** n.° 3, revista Iberoamericana de Corrosión y protección, Madrid, 1986.
- ***Ciència,*** n.° 49, revista catalana de ciencia y tecnología, Barcelona, 1986.
- ***Shilap,*** n.° 55, revista de lepidopterología, Edita Sociedad Hispano-Luso-Americana de Lepidopterología, Madrid, 1986.

MANIFESTACIONES CIENTÍFICAS

Para una información adicional

MUNDO CIENTÍFICO

ICYT (CSIC)

- El Instituto de Información y Documentación en Ciencia y Tecnología (ICYT) del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y Mundo Científico ofrecen a los lectores interesados información bibliográfica complementaria de determinados artículos publicados en este número de Mundo Científico.

- Estas bibliografías se obtienen mediante la exploración de las bases de datos bibliográficas adecuadas, accesibles desde el ICYT, y se encuentran a disposición del interesado en el ICYT al precio de 2.000,– Pts.

Descuento del 50 % a los suscriptores de Mundo Científico (1.000 Pts.).

CUPÓN DE PEDIDO

Marque con una X los temas de las bibliografías que le interesen

Nombre ....

Dirección Postal ....

C. P. .... Municipio ....

Provincia ....

Número de suscriptor a Mundo Científico ....

Copie o recorte este cupón y envíelo acompañado de talón bancario, nominal al ICYT, o de giro postal por valor de las bibliografías solicitadas.

ICYT – Consultas Bibliográficas
C/ Joaquín Costa, 22
28002 Madrid
Télex: 22628 CIDMD/E
Teléfono: (91) 261 48 08 

9-13 MARZO — **METZ (FRANCIA)**
Ensayos de ecotoxicidad y de carcinogenicidad de las moléculas químicas.
J.F. Ferard, 1 rue des Récollets, 57000 Metz, Francia.

11-14 MARZO — **PARÍS (FRANCIA)**
Medec 87: salón de la medicina.
B. Soubiran, Société 3E, 74 avenue Kléber, 75116 Paris, Francia.

12-13 MARZO — **DIJON (FRANCIA)**
3.ª reunión del grupo francés de las zeolitas.
F. Raatz, IFP, BP 311, 92506 Rueil Malmaison Cedex, Francia.

2-3 ABRIL — **PARÍS (FRANCIA)**
Aquarius: 1.er coloquio internacional sobre la gestión de los medios naturales acuáticos.
F. Izac, 7 rue Rameau, 78000 Versailles, Francia.

7-9 ABRIL — **NOTTINGHAM (INGLATERRA)**
Optimización de procesos.
J. Wearbe, I.C.E. 165-171 Railway Terrace, Rugby, CV21 3HQ, Inglaterra.

14-16 MAYO — **BURDEOS (FRANCIA)**
IV coloquio de la AFIE: la gestión de los sistemas ecológicos desde los progresos de la investigación al desarrollo de las técnicas.
AFIE, 26 rue Montmartre, 75001 Paris, Francia.

18-20 MAYO — **PARÍS (FRANCIA)**
Jornadas internacionales de cardiología de París.
Pr. Grosgogeat, Service de Cardiologie de la Salpêtrière, 47 boulevard de l'Hôpital, 75013 Paris, Francia.

18-20 MAYO — **LYON (FRANCIA)**
Simposio internacional: impactos celulares en ecotoxicología.
D. Dive, Unité INSERM 146, Certia, BP 39, 59651 Villeneuve d'Ascq, Francia.

18-22 MAYO — **PARÍS (FRANCIA)**
MARI: máquinas y redes inteligentes yuxtapuestas: cognisciva 87 y 3.ª semana internacional.
CESTA, 1 rue Descartes, 75005 Paris, Francia.

20-22 MAYO — **PORT-BARCARES (FRANCIA)**
Jornadas BD3-87: III jornadas sobre bases de datos avanzadas.
M. Adiba, Journées BD3-87, Laboratoire de Génie Informatique, IMAG, BP 68, 38402 Saint-Martin d'Hères Cedex, Francia.

24-28 MAYO — **BUCAREST (RUMANÍA)**
4.ª conferencia internacional sobre el agua y los iones en sistemas biológicos.
P.V. Vasilescu, Str. Progresului 10, RO-70754 Bucarest, Rumanía.

15-19 JUNIO — **EINDHOVEN (HOLANDA)**
La conferencia sobre el habla: conferencia sobre las arquitecturas y los lenguajes paralelos de Europa.
F. Stoots, P.R.L., PO Box 80000, 5600 JA Eindhoven, Pays Holanda, Bas.

16-18 JUNIO — **ATENAS (GRECIA)**
Mesa redonda internacional: el hábitat egeo prehistórico.
P. Darcque, UA n.º 1 «Protohistoire égéenne», Institut d'art et d'archéologie, 3 rue Michelet, 75006 Paris, Francia.

18-19 JUNIO — **TOULOUSE (FRANCIA)**
Primer fórum de los jóvenes investigadores en psicología vegetal.
Cl. Grand, C.P.V. Université P. Sabatier, 118 route de Narbonne, 31062 Toulouse Cedex, Francia.

18-19 JUNIO — **MARSELLA (FRANCIA)**
ORIA 87: la inteligencia artificial y el mar.
V. Bernadac, IIRIAM, 2 rue H. Barbusse, 13241 Marseille Cedex, Francia.

21-26 JUNIO — **VERSALLES (FRANCIA)**
IX simposio internacional sobre gnotobiología.
Institut Gustave Roussy, Pavillon de recherche, 94805 Villejuif Cedex, Francia.

29 JUNIO-31 JULIO — **LES HOUCHES (FRANCIA)**
Sesión XLVIII: dinámica de los fluidos en astrofísica;

4 AGOSTO-29 AGOSTO — **LES HOUCHES (FRANCIA)**
Sesión XLIX: átomos muy ionizados.
Ecole d'été de physique théorique, USMG, Côte des Chavants, 74310 Les Houches, Francia.

6-11 JULIO — **LILLE (FRANCIA)**
IX simposio internacional sobre los glicoconjugados.
CNRS UA 217, Laboratoire de chimie biologique, USTL, 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex, Francia.

13-17 JULIO — **EDIMBURGO (INGLATERRA)**
XI simposio internacional sobre los haces moleculares.
J.F. Gibson, Royal Society of Chemistry, Burlington House, London W1V OBN, Inglaterra.

15-21 JULIO — **MONTPELLIER (FRANCIA)**
Medecos V: V conferencia internacional sobre los sistemas climáticos internacionales: escalas de tiempo de respuesta de la tensión del agua en el medio biológico mediterráneo.
A. Dao, CNRS, Centre Emberger/CEPE, BP 5051, 3433 Montpellier Cedex, Francia.

20-24 JULIO — **BURDEOS (FRANCIA)**
Conferencia internacional: polímeros de los cristales líquidos.
F. Hardouin, CRPP/CNRS, Domaine universitaire, 351 cours de la Libération, 33405 Talence Cedex, Francia.

27-30 JULIO — **RÍO DE JANEIRO (BRASIL)**
Reunión del mundo a través de las microondas.
A.A. de Salles, Pontificia universidade catolica do Rio de Janeiro, rua Marques de Sao Vicente, 225-CEP 22453, Rio de Janeiro, Brasil.

7-16 AGOSTO — **MADISON (ESTADOS UNIDOS)**
IEC XX: conferencia etológica internacional.
IEC XX, Department of Psychology, University of Wisconsin, 1202 W Johnson St., Madison, WI 53706, Estados Unidos.

16-21 AGOSTO — **JERUSALÉN (ISRAEL)**
Simposio internacional IUPAC sobre los polímeros para tecnologías avanzadas.
Ortra, Ltd., 2 Kaufman Street, PO Box 50432, Tel Aviv Israel 61500.

21-27 AGOSTO — **GRENOBLE (FRANCIA)**
IUTAM: 17.º congreso internacional sobre mecánica teórica y aplicada.
D. Caillerie, IMG, Domaine Universitaire, B.P. 68, 38402 Saint-Martin-d'Hères Cedex, Francia.

1-4 SETIEMBRE — **STUTTGART (RFA)**
Interact 87: 2.ª conferencia IFIP sobre la interacción ser humano-ordenador.
Interact 87 Secretary, c/o IAO/IPA, Nobelstrasse 12, D-7000 Stuttgart 80, RFA.

5-12 SETIEMBRE — **BATH (INGLATERRA)**
Coloquio sobre la antigua ley mosaica.
P. Johnson, Coach House, Littlecote Part, Hungerford, Berkshire, RG17 OSU, Inglaterra.

13-17 SETIEMBRE — **HELSINKI (FINLANDIA)**
Ecoc 87: décimotercera conferencia sobre la comunicación óptica.
Ecoc 87, c/o Sähköinsinööriliitto, Merikasarminkatu 7 J 53, 00160 Helsinki, Finlandia.

21-23 SETIEMBRE — **NANCY (FRANCIA)**
1.er congreso internacional: ingeniería de procesos.
A. Storck, ENSIC, 1 rue Grandville, 54042 Nancy Cedex, Francia.

25-30 SETIEMBRE — **LIVORNO (ITALIA)**
Conferencia internacional sobre tecnología: la carrera de armamentos y el control de las armas.
F. Lenci, USPID, c/o CNR Istituto di Biofisica, via S. Lorenzo 26, 56100 Pisa, Italia.

MUNDO CIENTIFICO

LA RECHERCHE, *versión en castellano*

Summary n.° 66

MUNDO CIENTIFICO
DE EDITORIAL FONTALBA

● **DIRECTOR**
José Gili Casals

● **DIRECTOR CIENTÍFICO**
Jaume Josa i Llorca

● **REDACCIÓN**
Carlos Sánchez-Rodrigo
María Torres
Ofelia Favaron

● **PRODUCCIÓN**
Ismael Rodríguez

LA RECHERCHE

● **COMITÉ CIENTÍFICO**
Pierre Gilles de Gennes
Xavier Le Pichon
Maurice Lévy
François Morel
Guy Ourisson
Charles Thibault

● **DIRECTOR**
Claude Cherki

ASESORAMIENTO Y TRADUCCIÓN:

La ciencia del champaña; los premio[s] Nobel 1986: *Bernat Pardo Alzina;* ¿Dejará de crecer la población mundia[l]? Los asteroides; El efecto fonoatómic[o]: *Amadeu Montoto;* Cuvier y Lamarck: [la] querella del catastrofismo; El rompecabezas de Darmstadt: *Joan Pericay;* Las momias de Groelandia; L[a] previsión del riesgo tecnológico; *Teres[a] Mestre;* ¿Tiene cómplices el virus de[l] SIDA?: *Jaume Serrasolsas;* Noticias d[e] informática: *Manuel López Naval.*

EDITA
EDITORIAL FONTALBA, S.A.
Valencia, 359 - 6.ª planta
08009 Barcelona (España)
Tels. (93) 258 55 07/08
Télex 97835 FONE

PUBLICIDAD
Directora de publicidad:
Charo de la Torre
Avda. de Bruselas, 74, 1.º, de
28028 MADRID
Tel. (91) 255 96 13
Delegación Cataluña
Vicenç Martí
Balmes 191, 2.º 5.ª 08006 Barcel[ona]
Tels.: (93) 237 29 21 y 237 26 31

Control OJD **de difusió[n]**

Distribución: **Marco Ibérica, S.A.**
Fotocomposición: Catalana de Fotocomposición, S.A.: Consejo de Ciento, 500 - Barcelona. Impresión: Industrias Gráficas Rosés, S.A. Cobalto, 9 - 08004 Barcelona
B. 10.896-1981

Precio del ejemplar para Canarias, Ceut[a] y Melilla 380 Ptas.

La revista científica de ámbito internacional

MUNDO CIENTIFICO

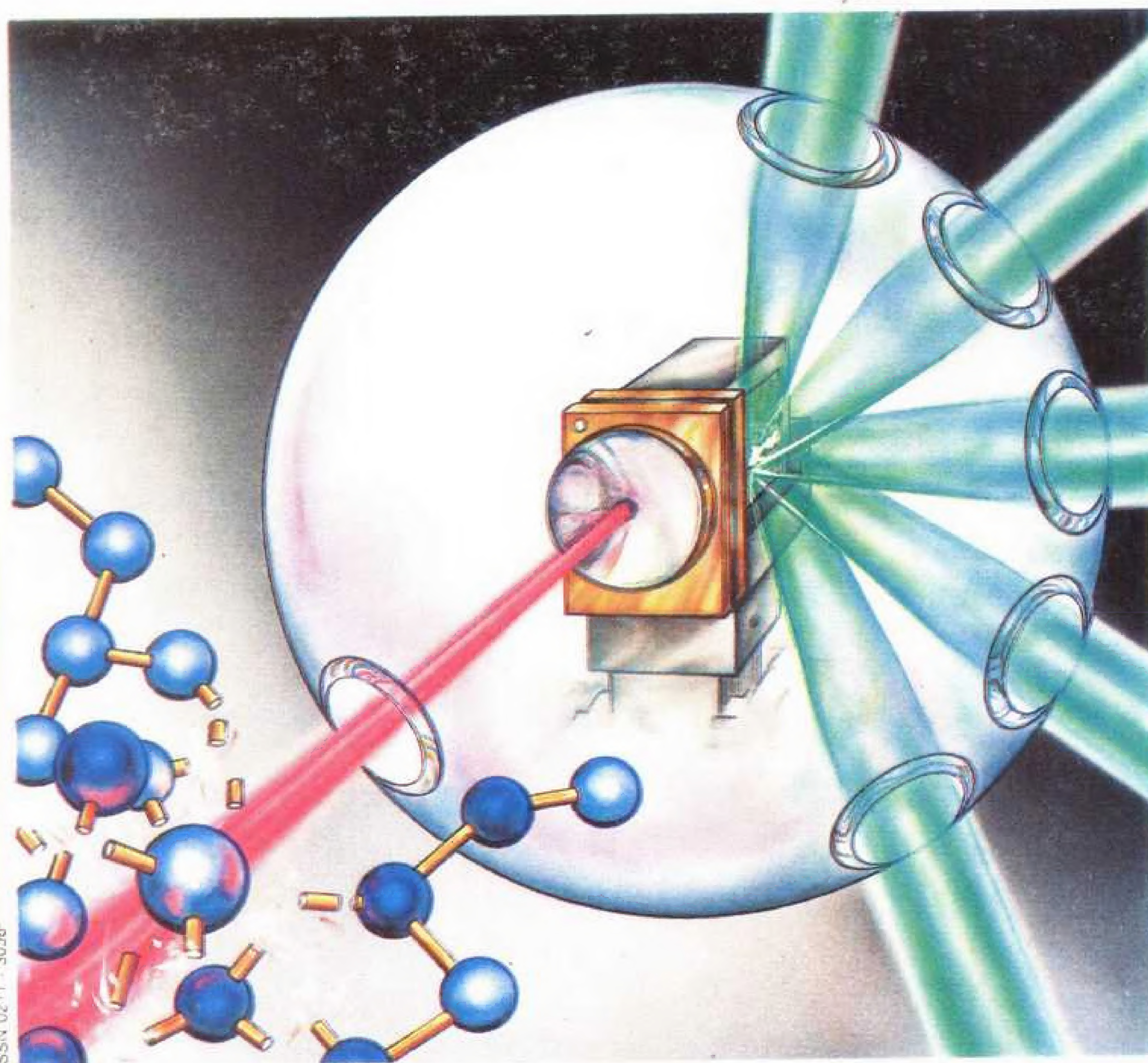
6.º ANIVERSARIO 1981-1987

LA RECHERCHE, *versión en castellano*

N.º 67 - MENSUAL 400 Ptas.

El desarrollo del cerebro
Análisis automático de la escritura
¿Las matemáticas conducen a Dios?
El origen de la Luna ● LASER de rayos X





ISSN 0211 - 3058

Nuestro próximo número:

El origen de la Luna, por A. Boss y W. Benz.

El desarrollo del cerebro, por H. Kennedy.

LASER de rayos X, por P. Jaeglé.

Análisis automático de la escritura, por D. Charrault.

¿Las matemáticas conducen a Dios?, por Pierre Thuillier.

Los ARN-antimensajeros, por J.J. Toulmé.